ユーザー マニュアル
FLIR Cx シリーズ

ユーザー マニュアル
FLIR Cx シリーズ

目次

1 免責条項 1
1.1 免責条項 1
1.2 用途に関する統計情報 1
1.3 用途についての統計情報 1
1.4 米国政府規制 1
1.5 著作権 1
1.6 品質保証 1
1.7 特許権 1
1.8 EULA Terms 1
1.9 EULA Terms 1
2 安全情報 2
3 ユーザーへの通知 5
3.1 ユーザー フォーラム 5
3.2 キャリブレーション 5
3.3 精度 5
3.4 電気廃棄物の処理 5
3.5 トレーニング 5
3.6 文書の更新 5
3.7 このマニュアルについての重要なお知らせ 5
3.8 正規版に関する注記 5
4 ユーザー ヘルプ 6
4.1 一般 6
4.2 質問を送信する 6
4.3 ダウンロード 7
5 クイック スタート ガイド 8
5.1 手順 8
6 説明 9
6.1 前面からの外観 9
6.2 下側からの外観 9
6.3 コネクタ 10
6.4 画面要素 10
6.5 自動方向付け 10
6.6 メニューシステムのナビゲート 11
7 操作 12
7.1 バッテリーの充電 12
7.2 カメラをオン・ オフする 12
7.3 画像の保存 12
7.3.1 一般 12
7.3.2 画像容量 12
7.3.3 命名規則 12
7.3.4 手順 12
7.4 画像の呼び出し 12
7.4.1 一般 12
7.4.2 手順 12
7.5 画像を削除する 13
7.5.1 一般 13
7.5.2 手順 13
7.6 すべての画像の削除 13
7.6.1 一般 13
7.6.2 手順 13
7.7 スポットメーターを使用して温度を測定する 14
7.7.1 一般 14
7.8 測定ツールを非表示にする 14
7.8.1 手順 14

7.9 色パレットを変更する 14
7.9.1 一般 14
7.9.2 手順 14
7.10 画像モードの変更 14
7.10.1 一般 14
7.10.2 手順 15
7.11 温度スケール モードを変更する 16
7.11.1 一般 16
7.11.2 ロックモードが適する状況 16
7.11.3 手順 16
7.12 放射率の設定 16
7.12.1 一般 16
7.12.2 手順 16
7.13 反射見かけ温度の変更 17
7.13.1 一般 17
7.13.2 手順 17
7.14 距離の変更 17
7.14.1 一般 17
7.14.2 手順 17
7.15 不均一性補正の実行 18
7.15.1 不均一補正とは 18
7.15.2 不均一補正を実行する状況 18
7.15.3 手順 18
7.16 カメラ ライトの使用 18
7.16.1 一般 18
7.16.2 手順 18
7.17 カメラ設定を変更する 18
7.17.1 一般 18
7.17.2 手順 19
7.18 カメラの更新 19
7.18.1 一般 19
7.18.2 手順 19

8 技術データ 20
8.1 オンライン視野計算機 20
8.2 技術データに関する注記 20
8.3 正規版に関する注記 20
8.4 FLIR C2 21

9 機械製図 24

10 CE 適合宣言書 25

11 カメラのクリーニング 26
11.1 カメラの筐体、ケーブルおよびその他のアイテム 26
11.1.1 液体 26
11.1.2 備品 26
11.1.3 手順 26
11.2 赤外線レンズ 26
11.2.1 液体 26
11.2.2 備品 26
11.2.3 手順 26

12 適用例 27
12.1 湿気および水による損傷 27
12.1.1 一般 27
12.1.2 図 27
12.2 ソケットの不完全な接続 27
12.2.1 一般 27

12.2.2 図 ... 27
12.3 酸化したソケット ... 28
12.3.1 一般 ... 28
12.3.2 図 ... 28
12.4 断熱材の損傷 ... 29
12.4.1 一般 ... 29
12.4.2 図 ... 29
12.5 隙間風 ... 29
12.5.1 一般 ... 29
12.5.2 図 ... 29
13 FLIR Systems について ... 31
13.1 赤外線カメラを超える機能 ... 32
13.2 知識の共有 ... 32
13.3 カスタマー サポート ... 32
13.4 当社の製造・ 開発現場から ... 33
14 用語集 ... 34
15 熱測定技術 ... 37
15.1 はじめに ... 37
15.2 放射率 ... 37
15.2.1 サンプルの放射率を見つける ... 37
15.3 反射見かけ温度 ... 39
15.4 距離 ... 39
15.5 相対湿度 ... 40
15.6 その他のパラメータ ... 40
16 赤外線技術の歴史 ... 41
17 サーモグラフィの理論 ... 44
17.1 はじめに ... 44
17.2 電磁スペクトル ... 44
17.3 黒体放射 ... 44
17.3.1 Planck の法則 ... 45
17.3.2 Wien の変位の法則 ... 46
17.3.3 Stefan-Boltzmann の法則 ... 47
17.3.4 非黒体発散体 ... 48
17.4 赤外線半透過性素材 ... 49
18 測定演算式 ... 51
19 放射率表 ... 55
19.1 参考文献 ... 55
19.2 表 ... 55

1 免責条項

1.1 免責条項

FLIR Systems が製造するすべての製品は、FLIR Systems の指示に従い通常の方法で保存、使用、保守が行われることを条件に、素材および製造時の不良に対して、最初の購入の配達日から 1 年間の保証が提供されます。

FLIR Systems が製造する非冷却式携帯型赤外線カメラは、FLIR Systems の指示に従い通常の方法で保存、使用、保守が行われ、かつ、最初の購入から 60 日以内に製品登録することを条件に、素材および製造時の不良に対して、最初の購入の配達日から 2 年間の保証が提供されます。

FLIR Systems が製造する非冷却式携帯型赤外線カメラ用検知器には、FLIR Systems の指示に従い通常の方法で保存、使用、保守が行われ、かつ、最初の購入から 60 日以内に製品登録することを条件に、素材および製造時の不良に対して、最初の購入の配達日から 10 年間の保証が提供されます。

FLIR Systems が製造したものではないが FLIR Systems が最初の購入者に納品したシステムに含まれる製品には、特定のサプライヤーの保証のみが持ち越されます。FLIR Systems はそのような製品に対しては、いかなる責任も負いません。

この保証は最初の購入者のみを対象とし、譲渡できません。また、誤用、不注意、事故または異常な操作で不良が生じた製品には適用されません。消耗品はこの保証から除外されます。

この保証の対象となる製品で不良が発生した場合、更なる損害を防ぐため、その製品を続けて使用してはいけません。購入者はすぐに不良を FLIR Systems に報告するものとします。これを怠ると保証は適用されません。

FLIR Systems は、調査により製品の不良が素材によりまたは製造時に発生したことが証明され、かつ、上記1年の期間内に FLIR Systems に当該製品が返品されたときは、不良製品を自己の自由裁量にて無償で修理または交換するものとします。

FLIR Systems は上記以外の不良については、いかなる責務も法的責任も負いません。

明示または黙示による他の保証は一切提供されません。特に FLIR Systems は、商品性および特定目的への適合性に関する黙示の保証は提供いたしません。

FLIR Systems は、直接、間接、特別、付随的または派生的な損失または損害については、契約、不法行為、その他いかなる法理に基づくものであっても、その責任を負わないものとします。

この保証には、スウェーデンの法律が適用されます。

この保証に起因または関連して生じるすべての紛争、論争または申し立ては、ストックホルム商業会議所仲裁裁判所の規則に従って、仲裁により最終的に解決するものとします。仲裁場所はストックホルムとします。仲裁手続で使用する言語は英語とします。

1.2 用途に関する統計情報

FLIR Systems は、自社のソフトウェアおよびサービスの品質の維持と向上に役立てるために、用途について匿名の統計情報を収集する権限を有します。

1.3 用途についての統計情報

FLIR Camera Monitor サービスで、USB ケーブル経由でコンピュータに接続された FLIR カメラが検出されると、レジストリ エントリ HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\Control\Lsa\LmCompatibilityLevel が自動的にレベル 2 に変更されます。この変更は、ネットワーク ログオンをサポートするリモート ネットワーク サービスがカメラ デバイスに実装されている場合にのみ行われます。

1.4 米国政府規制

この製品は米国輸出規制の対象となる場合があります。問い合わせは exportquestions@flir.com にお送りください。

1.5 著作権

1.6 品質保証

これらの製品が開発および製造される品質管理システムは ISO 9001 規格に準拠していることが証明されています。

FLIR Systems は開発続行ポリシーを公約しています。そのため、事前に通知することなく各製品を変更および改良する権利を保持しています。

1.7 特許権

次の 1 つまたは複数の特許または意匠特許が、製品/機能に適用される場合があります。別の出願中の特許または意匠特許が適用される場合もあります。

000279476-0001; 000439161; 000499579-0001; 000653423; 000726344; 000859020; 001106306-0001; 001707738; 001707746; 001707787; 001776519; 001954074; 002021543; 002058180; 002249953; 002531178; 0600574-8; 1144833; 1182246; 1182620; 1285345; 1299699; 1325808; 1336775; 1391114; 1402918; 1404291; 1411581; 1415075; 1421497; 1458284; 1678485; 1732314; 2106017; 2107799; 2381417; 3006596; 3006597; 466540; 483782; 484155; 4889913; 5177595; 60122153.2; 602004011681.5-08; 6707044; 68657; 7034300; 7110035; 7154093; 7157705; 7237946; 7312822; 7332716; 7336823; 7544944; 7667198; 7809258 B2; 7826736; 8,153,971; 8,823,803; 8,853,631; 8018649 B2; 8212210 B2; 8289372; 8354639 B2; 8384783; 8520970; 8565547; 8595689; 8599262; 8654239; 8680468; 8803093; D540838; D549758; D579475; D584755; D599,392; D615,113; D664,580; D664,581; D665,004; D665,440; D677298; D710,424 S; D718801; DI6702302-9; DI6903617-9; DI7002221-6; DI7002891-5; DI7002892-3; DI7005799-0; DM/057692; DM/061609; EP 2115696 B1; EP2315433; SE 0700240-5; US 8340414 B2; ZL 201330267619.5; ZL01823221.3; ZL01823226.4; ZL02331553.9; ZL02331554.7; ZL200480034894.0; ZL200530120994.2; ZL200610088759.5; ZL200630130114.4; ZL200730151141.4; ZL200730339504.7; ZL200820105768.8; ZL200830128581.2; ZL200880105236.4; ZL200880105769.2; ZL200930190061.9; ZL201030176127.1; ZL201030176130.3; ZL201030176157.2; ZL201030595931.3; ZL201130442354.9; ZL201230471744.3; ZL201230620731.8.

1.8 EULA Terms

- You have acquired a device (“INFRARED CAMERA”) that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates (“MS”). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and “online” or electronic documentation (“SOFTWARE”) are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.
- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT (“EULA”), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. **ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).**
- **GRANT OF SOFTWARE LICENSE.** This EULA grants you the following license:
  - You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.
  - **NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT. FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.
  - **NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided “AS IS” and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. **IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.**
  - No Liability for Certain Damages. **EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.$250.00).**
  - **Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.
  - **SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.
  - **EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see http://www.microsoft.com/exporting/.

1.9 EULA Terms

Qt4 Core and Qt4 GUI, Copyright ©2013 Nokia Corporation and FLIR Systems AB. This Qt library is a free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU Lesser General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 2.1 of the License, or (at your option) any later version. This library is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU Lesser General Public License, http://www.gnu.org/licenses/lgpl-2.1.html. The source code for the libraries Qt4 Core and Qt4 GUI may be requested from FLIR Systems AB.

2 安全情報

警告

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーを分解したり、改造したりしないでください。バッテリーには安全および保護のための部品が含まれており、それが損傷すると、過熱、爆発または発火の原因になります。

警告

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリー液が漏れて液体が目に入った場合は、目をこすらないでください。目を水でよくすすぎ、すぐに治療を受けてください。すぐに治療を受けない場合、バッテリー液によって目を損傷することがあります。

警告

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

指定された充電時間に充電が完了しなかった場合は、充電を継続しないでください。バッテリーの充電を続けると、バッテリーが加熱して、爆発や発火のおそれがあり、怪我の原因となることがあります。

警告

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーの放電には、正しい装置のみを使用してください。正しい装置を使用しないと、バッテリーの性能の低下や寿命の短縮につながることがあります。また、不適切な電流がバッテリーに流れてしまうこともあり、これによりバッテリーが加熱し、爆発で怪我をする可能性があります。

警告

液体を使用される前には、該当する MSDS (製品安全データ シート) と容器に記載されている警告ラベルをお読みください。液体は取り扱いによっては危険な場合があり、怪我の原因となることがあります。

注意

レンズ カバーを装着しているかどうかを問わず、赤外線カメラを高エネルギー源 (例えば、レーザー光線を放射する機器や太陽) に向けないでください。カメラの精度に望ましくない影響を与えることがあります。また、カメラの検出素子を損傷することもあります。

注意

ユーザー資料または技術データに別途指定がない限り、気温が +50°C を超える条件でカメラを使用しないでください。気温が高いと、カメラの損傷の原因になることがあります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

FLIR Systems 製シガー ライター ソケットにバッテリーを接続するための特別アダプターがないときは、バッテリーを車のシガー ライター ソケットに直接接続しないでください。バッテリーが損傷する可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーの陽極と陰極を金属の物体 (ワイヤなど) でつながないでください。バッテリーが損傷する可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーを水や塩水に付けたり、バッテリーを濡らさないようにしてください。バッテリーが損傷する可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーに穴をあけないでください。バッテリーが損傷する可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

ハンマーでバッテリーをたたかないでください。バッテリーが損傷する可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

足でバッテリーを踏んだり蹴ったりしないでください。バッテリーが損傷する可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーを火の中や近くに置いたり、直射日光に当てないでください。バッテリーが高温になると、組み込みの保護機能が作動し、充電が中止されます。また、バッテリーが熱くなると、保護機能が破壊され、バッテリーのさらなる過熱、損傷、発火の原因になります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーを火の中に入れたり、熱でバッテリーの温度を上げないでください。バッテリーが損傷したり、怪我の原因となる可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーを火やストーブ、その他の高温になる場所に入れたり、それらの近くに置かないでください。怪我の原因となる可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーに直接はんだ付けしないでください。バッテリーが損傷する可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーの使用中、充電中、または保管中に異常なにおいがしたり、熱くなったり、色が変わったり、形が変わったり、または他の異常な状況が見られたときは、バッテリーを使用しないください。これらの問題が見られた場合は、販売店に相談してください。バッテリーが損傷したり、怪我の原因となる可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーを充電するときは、指定された充電器のみを使用してください。指定の充電器を使用しないと、バッテリーが損傷する可能性があります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーを充電できる温度範囲は、ユーザー資料または技術データに別途指定がない限り、±0°C から +45°C です。この範囲外の気温でバッテリーを充電すると、バッテリーが過熱したり故障することがあります。また、バッテリーの性能が低下したり、寿命が縮むことがあります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーを放電できる温度範囲は、ユーザー資料または技術データに別途指定がない限り、-15°C から +50°C です。この範囲外の気温でバッテリーを使用すると、バッテリーの性能が低下したり、寿命が縮むことがあります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーが古くなったときは、処分する前にバッテリーの両極をテープなどで絶縁してください。絶縁しないとバッテリーが損傷し、怪我の原因になることがあります。

注意

適用対象: 1 つまたは複数のバッテリーを装着したカメラ。

バッテリーを装着する前に、水分や湿気をバッテリーから取り除いてください。水分や湿気を取り除かないと、バッテリーが損傷する可能性があります。

注意

カメラ、ケーブル、その他のアイテムに、溶剤や同様の液体を使用しないでください。バッテリーが損傷し、怪我の原因になることがあります。

注意

赤外線レンズは注意してクリーニングしてください。レンズは損傷しやすい反射防止コーティングが施されており、これが損傷すると赤外線レンズも損傷する可能性があります。

注意

赤外線レンズをクリーニングし過ぎないようにしてください。これにより、カメラ レンズの反射防止コーティングが損傷することがあります。

注

保護構造グレードは、カメラのすべての開口部が指定のカバー、ハッチ、またはキャップで閉じられている場合にのみ適用されます (これにはデータ ストレージ、バッテリーおよびコネクタ部分などが含まれます)。

3 ユーザーへの通知

3.1 ユーザー フォーラム

弊社のユーザー フォーラムでは、赤外線分析を行う世界中のユーザーと意見を交換したり、問題や赤外線ソリューションを共有したりすることができます。フォーラムに参加するには、次のサイトを参照してください。

http://www.infraredtraining.com/community/boards/

3.2 キャリブレーション

年に一度、カメラをキャリブレーションに出すことをお勧めいたします。カメラの送り先については、お近くの販売店にお問い合わせください。

3.3 精度

正確な結果を得るため、カメラの起動後 5 分以上経過してから温度を測定することをお勧めいたします。

3.4 電気廃棄物の処理

ほとんどの電気製品と同様、この装置は環境にやさしい方法で処理を行う必要があります。また、電気廃棄物に関する既存の規制を順守する必要があります。

詳細については、お近くの FLIR Systems 代理店にお問い合わせください。

3.5 トレーニング

赤外線測定のトレーニング情報については、次のサイトを参照してください。

- http://www.infraredtraining.com
- http://www.irtraining.com
- http://www.irtraining.eu

3.6 文書の更新

取扱説明書は年に数回更新されます。また、製品にとって重要な変更通知も定期的に発行されます。

最新の取扱説明書と通知にアクセスするには、以下のDownloadタブにアクセスしてください。

http://support.flir.com

オンライン登録にはほんの数分しかかかりません。ダウンロードエリアでは、他の製品の取扱説明書の最新版や旧バージョンでサポートが終了した製品の取扱説明書も提供されています。

3.7 このマニュアルについての重要なお知らせ

FLIR Systems は、モデル ラインのいくつかのカメラをカバーした汎用マニュアルを発行しています。

従って、マニュアルの記載や説明が、お使いの特定のカメラには当てはまらない場合もありますので、ご注意ください。

3.8 正規版に関する注記

この文書の正規版は英語です。誤訳による相違がある場合には、英語版が優先されます。

最新の変更は英語版から反映されます。

4 ユーザー ヘルプ

4.1 一般

カスタマー サポートをお求めの場合は、次のサイトを参照してください。

http://support.flir.com

4.2 質問を送信する

ユーザー ヘルプ チームに質問を送信するには、ユーザー登録が必要になります。オンライン登録は数分で完了します。ナレッジベースで既存の質問と回答などを検索するだけであれば、ユーザー登録は不要です。

質問を送信するときは、次の情報を入手していることを確認してください。

- カメラのモデル名

- カメラの製造番号
- カメラとデバイス間の通信プロトコルまたは方法 (例えば、HDMI、Ethernet、USB、または FireWire)
- デバイス タイプ (PC/Mac/iPhone/iPad/Android デバイスなど)
- FLIR Systems製のプログラムのバージョン
- マニュアルの正式名称、出版番号および改訂番号

4.3 ダウンロード

ユーザー ヘルプ サイトでは、以下のものもダウンロードできます。

- 赤外線カメラ用のファームウェア更新。
- PC/Mac ソフトウェア用のプログラム更新。
- PC/Mac ソフトウェアのフリーウェアおよび評価バージョン。
- 最新版、旧版、およびサポートが終了した製品のユーザー マニュアル。
- 機械製図 (*.dxf および *.pdf フォーマット)。
- CAD データ モデル (*.stp フォーマット)。
- 適用事例。
- 技術データシート。
- 製品カタログ。

5 クイック スタート ガイド

5.1 手順

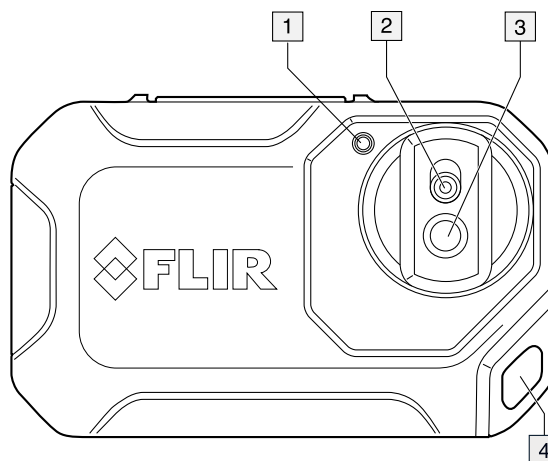
次の手順に従います。

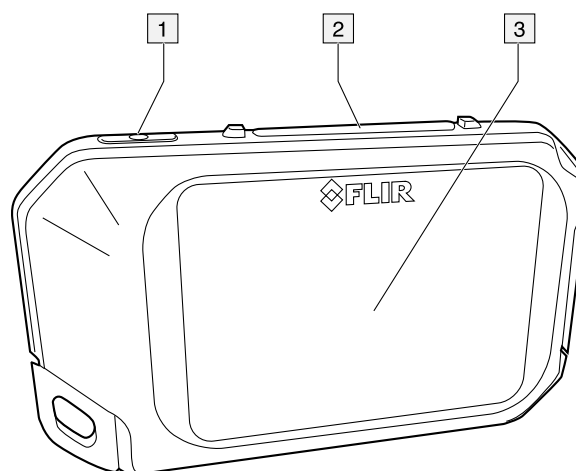
1. FLIR 電源でバッテリーを約 1.5 時間充電します。
2. オン/オフ ボタン (Ⓘ) を押して、カメラの電源を入れます。
3. カメラを対象物に向けます。
4. 保存ボタンを押して、画像を保存します。

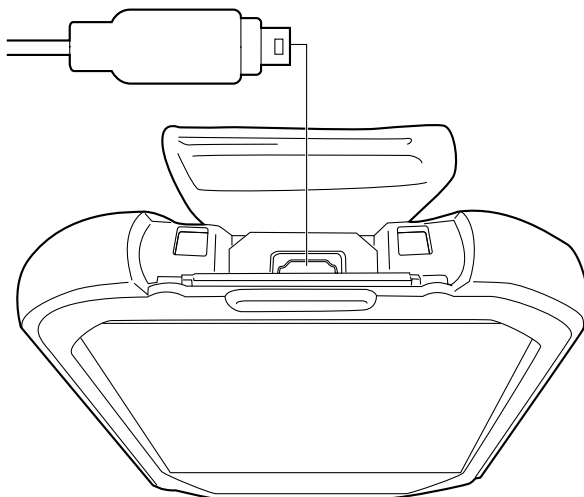
(オプションの手順)

5. コンピュータに FLIR Tools をインストールします。
6. FLIR Tools を起動します。
7. USB ケーブルを使ってカメラをコンピュータに接続します。
8. 画像を FLIR Tools にインポートします。
9. FLIR Tools で PDF 形式のレポートを作成します。

6 説明

6.1 前面からの外観

1. カメラ ライト。
2. デジタル カメラのレンズ。
3. 赤外線レンズ。
4. 取り付け位置

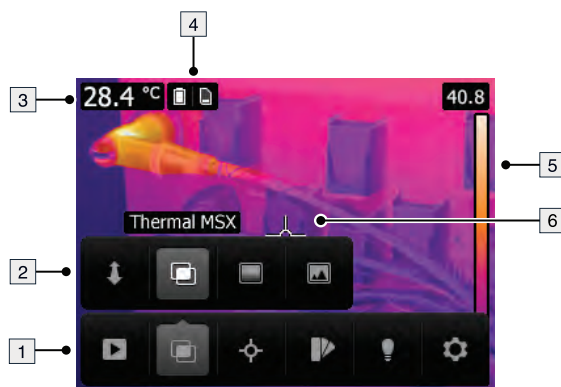
6.2 下側からの外観

1. オン/オフ ボタン。
2. 保存ボタン。
3. カメラの画面。

6.3 コネクタ

この USB Micro-B コネクタの用途は次のとおりです。

- FLIR 電源アダプターを使用してバッテリーを充電する。
- FLIR Tools でさらに解析するため、画像をカメラからコンピュータに移動する。

注

画像を移動する前に FLIR Tools をコンピュータにインストールしてください。

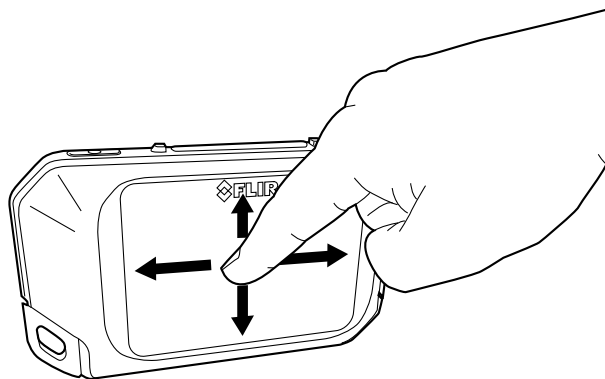
6.4 画面要素

1. メイン メニュー ツールバー。
2. サブメニュー ツールバー。
3. 結果表。
4. ステータス アイコン。
5. 温度スケール
6. スポットメーター

6.5 自動方向付け

カメラには自動方向付け機能があります。この機能により、ディスプレイ上の測定情報をカメラの縦/横位置に自動調整できます。

注

設定で自動方向付け機能を有効化します。[オプション] > [デバイス設定] > [自動方向付け] > [オン] を選択します。

6.6 メニューシステムのナビゲート

カメラにはタッチ スクリーンが装備されています。人差し指または専用のスタイラスペンを使用して、メニュー システムをナビゲーションします。

カメラの画面をタップして、メニュー システムを表示します。

7 操作

7.1 バッテリーの充電

次の手順に従います。

1. FLIR 電源をコンセントに接続します。
2. 電源アダプターケーブルをカメラの USB コネクタに接続します。

7.2 カメラをオン・オフする

- オン/オフ ボタン を押して、カメラの電源を入れます。
- オン/オフ ボタン を画面の表示が消えるまで (5 秒未満) 押すと、カメラはスタンバイ モードになります。2 時間経つとカメラの電源が自動的にオフになります。
- カメラの電源を切るにはオン/オフ ボタン を 5 秒以上押し続けます。

7.3 画像の保存

7.3.1 一般

内部カメラ メモリーに画像を保存できます。

カメラには、熱画像と可視画像のどちらも同時に保存できます。

7.3.2 画像容量

およそ 500 枚の画像を内部カメラ メモリーに保存できます。

7.3.3 命名規則

画像の命名規則は *FLIRxxxx.jpg* となります。ここで、*xxxx* は一意のカウンタです。

7.3.4 手順

次の手順に従います。

1. 画像を保存するには、[保存] ボタンを押します。

7.4 画像の呼び出し

7.4.1 一般

保存した画像は内部カメラ メモリーに保存されます。もう一度画像を表示するには、内部カメラ メモリーから画像を呼び出します。

7.4.2 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [画像] を選択します。これにより、画像アーカイブ内の画像が表示されます。
3. 前の画像または次の画像を表示するには、次のいずれかの操作を実行します。
   - 左または右にスワイプします。
   - 左矢印 〈 または右矢印 〉 をタップします。
4. 熱画像と可視画像を切り替えるには、上または下にスワイプします。

5. カメラの画面をタップします。これにより、ツールバーが表示されます。

   - [全画面表示] または [全画面を終了] を選択して、全画面と通常の表示を切り替えます。
   - [サムネイル] を選択して、サムネイルを表示します。サムネイルをスクロールするには、上下にスワイプします。画像を表示するには、サムネイルをタップします。
   - [削除] を選択して、画像を削除します。
   - [情報] を選択して、画像に関する情報を表示します。
   - [カメラ] を選択して、ライブ モードに戻ります。

7.5 画像を削除する

7.5.1 一般

内部カメラ メモリーから画像を削除できます。

7.5.2 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [画像] を選択します。これにより、画像アーカイブ内の画像が表示されます。
3. 前の画像または次の画像を表示するには、次のいずれかの操作を実行します。
   - 左または右にスワイプします。
   - 左矢印 または右矢印 をタップします。
4. 削除する画像が表示されたら、カメラの画面をタップします。これにより、ツールバーが表示されます。
5. ツールバーで、[削除] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
6. このダイアログ ボックスで、[削除] を選択します。
7. ライブ モードに戻るには、カメラの画面をタップして、[カメラ] を選択します。

7.6 すべての画像の削除

7.6.1 一般

すべての画像を内部カメラ メモリーから削除できます。

7.6.2 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [オプション] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
3. ダイアログ ボックスで、[デバイス設定] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
4. ダイアログ ボックスで、[リセット オプション] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
5. ダイアログ ボックスで、[全画像を削除します] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
6. このダイアログ ボックスで、[削除] を選択します。

7. ライブ モードに戻るには、左上の矢印 を繰り返しタップします。保存ボタンを一度押しても戻ることができます。

7.7 スポットメーターを使用して温度を測定する

7.7.1 一般

スポットメーターを使用して温度を測定することができます。これにより、画面上でスポットメーターがある位置の温度が表示されます。

7.7.1.1 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [測定] を選択します。これにより、サブメニュー ツールバーが表示されます。
3. サブメニュー ツールバーで、[中心スポット] を選択します。

   スポットメーターがある位置の温度が画面の左上隅に表示されます。

7.8 測定ツールを非表示にする

7.8.1 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [測定] を選択します。これにより、サブメニュー ツールバーが表示されます。
3. サブメニュー ツールバーで、[測定なし] を選択します。

7.9 色パレットを変更する

7.9.1 一般

カメラが異なる温度表示するのに使用するカラー パレットを変更することができます。異なるパレットを使用することによって、画像の分析が容易になります。

7.9.2 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [カラー] を選択します。これにより、サブメニュー ツールバーが表示されます。
3. サブメニュー ツールバーで、カラー パレットのタイプを選択します。

   - アイアン
   - レインボー
   - レインボーハイコントラスト
   - グレー

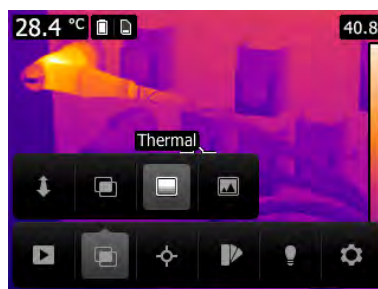
7.10 画像モードの変更

7.10.1 一般

カメラは、温度情報と視覚情報を同時に記録します。画像モードの選択に応じて、画面に表示する画像を選択します。

カメラは次の画像モードをサポートします。

- *MSX* (Multi Spectral Dynamic Imaging): 可視画像の詳細で対象のエッジを強調した赤外線画像を表示します。

- 赤外線: 完全な赤外線画像を表示します。

- デジタル カメラ: デジタル カメラで撮影した可視画像のみを表示します。

良好な融合画像 (*MSX* モード) を表示するには、カメラを必ず調整して、デジタル カメラ レンズと赤外線レンズの位置の微小な差を補正してください。画像を正確に調整するには、位置合わせ距離 (対象物までの距離など) が必要です。

7.10.2 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [イメージ モード] を選択します。これにより、サブメニュー ツールバーが表示されます。
3. サブメニュー ツールバーで、次のいずれかを選択します。
   - *MSX*
   - 赤外線
   - デジタル カメラ

4. *MSX* モードを選択した場合には、以下を実行して、対象物までの距離も設定します。
   - サブメニュー ツールバーで、[位置合わせ距離] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
   - ダイアログ ボックスで、対象物までの距離を選択します。

7.11 温度スケール モードを変更する

7.11.1 一般

カメラには次の 2 種類の温度スケール モードがあります。

- 自動モード: このモードでは、カメラは継続的に自動調整され、画像の明るさとコントラストが最高の状態になります。
- ロックモード: このモードでは、温度スパンと温度レベルがロックされます。

7.11.2 ロックモードが適する状況

ロックモードの使用に適した状況は、デザインまたは構成が似ている 2 つの対象物で温度の異常を見つけるような場合です。

一例として、2 本のケーブルのうち 1 本に過熱の疑いがあるという状況を想定します。カメラを自動モードで正常な温度のケーブルに向け、次にロックモードを有効にします。次にロックモードでカメラを過熱が疑われるケーブルに向けると、最初のケーブルよりも温度が高い場合、熱画像でそのケーブルが明るい色で表示されます。

自動モードを使用すると、温度が違っても 2 本のケーブルが同じ色で表示されることがあります。

7.11.3 手順

自動モードとロックモード間で切り替えるには、温度スケールの一番上または一番下の温度をタップします。

グレーの南京錠アイコンが表示されていれば、ロックモードが有効です。

7.12 放射率の設定

7.12.1 一般

温度を正確に測定するためには、測定対象の表面タイプをカメラに認識させる必要があります。以下の表面特性を選択できます。

- つや消し
- 半つや消し
- 半光沢仕上げ

このほか、カスタムの放射率を設定することもできます。

放射率の詳細については、セクション 15 熱測定技術, ページ 37 を参照してください。

7.12.2 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [オプション] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
3. ダイアログ ボックスで、[測定パラメータ] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
4. ダイアログ ボックスで、[放射率] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。

5. ダイアログ ボックスで、次のいずれかを選択します。
   - つや消し
   - 半つや消し
   - 半光沢仕上げ
   - カスタム値。これにより、値を設定するダイアログ ボックスが表示されます。
6. ライブ モードに戻るには、左上の矢印 ‹ を繰り返しタップします。保存ボタンを一度押しても戻ることができます。

7.13 反射見かけ温度の変更

7.13.1 一般

このパラメータは、物体が反射する放射を補正するために使用されます。放射率が低く、物体の温度が反射温度と大きく異なっている場合、反射見かけ温度を正しく設定して適切に補正することが重要です。

反射見かけ温度の詳細については、セクション 15 熱測定技術, ページ 37 を参照してください。

7.13.2 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [オプション] ⚙ を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
3. ダイアログ ボックスで、[*Measurement parameters*] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
4. ダイアログ ボックスで、[反射温度] を選択します。これにより、値を設定するダイアログ ボックスが表示されます。
5. ライブ モードに戻るには、左上の矢印 ‹ を繰り返しタップします。保存ボタンを一度押しても戻ることができます。

7.14 距離の変更

7.14.1 一般

距離とは、物体とカメラの前面レンズとの間の距離を指します。このパラメータは、次の 2 つの事象を補正するために使用されます。

- 対象からの放射が物体とカメラの間の大気によって吸収される
- 大気そのものからの放射がカメラによって検出される

詳細については、セクション 15 熱測定技術, ページ 37 を参照してください。

7.14.2 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [オプション] ⚙ を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
3. ダイアログ ボックスで、[*Measurement parameters*] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
4. ダイアログ ボックスで、[距離] を選択します。これにより、値を設定するダイアログ ボックスが表示されます。
5. ライブ モードに戻るには、左上の矢印 ‹ を繰り返しタップします。保存ボタンを一度押しても戻ることができます。

7.15 不均一性補正の実行

7.15.1 不均一補正とは

不均一補正 (NUC) とは、検出素子のさまざまな感度および他の光学的および幾何学的な障害を補正するためにカメラのソフトウェアによって実行される画像補正です[1].

7.15.2 不均一補正を実行する状況

不均一補正処理は、出力画像に空間ノイズが表示されるたびに実行する必要があります。周囲の温度が変化すると、空間ノイズが表示されるようになります (たとえば、屋内から屋外、屋外から屋内など)。

7.15.3 手順

不均一補正を実行するには、 アイコンをタップして押し続けます。[キャリブレーション中...] と画面に表示されます。

7.16 カメラ ライトの使用

7.16.1 一般

画像を撮影する際、カメラ ライトをフラッシュライト (フラッシュ) として使用できます。

7.16.2 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [ライト] を選択します。
3. 次のいずれかをタップします。
   - フラッシュ (画像を撮影する際、ライトをフラッシュとして使用する)
   - オン (ライトをオンにして、フラッシュライトとして使用する)
   - オフ (ライトをオフにする)

7.17 カメラ設定を変更する

7.17.1 一般

カメラの各種設定を変更できます。

[オプション] メニューには次のものが含まれます。

- 測定パラメータ
- 保存オプション
- デバイス設定

7.17.1.1 測定パラメータ

- 放射率
- 反射温度
- 距離

7.17.1.2 保存オプション

- *Photo as separate JPEG*: このメニュー コマンドを選択すると、ビジュアル カメラからのデジタル写真が完全な視野で別の JPEG 画像として保存されます。FLIR Tools ソフトウェアを使用しない場合、このオプションの有効化が必要になることがあります。

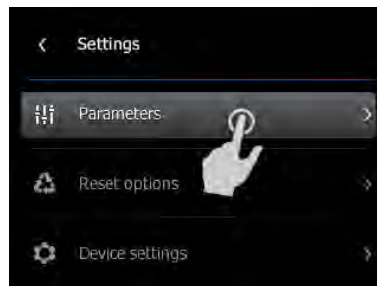
1. 間もなく国際的に採用される DIN 54190-3 (非破壊検査 – サーモグラフィ検査 – パート 3: 用語と定義) からの定義です。

7.17.1.3 デバイス設定

- 言語と時間:
  - 言語
  - 温度単位
  - 距離単位
  - 日時
  - 日時形式
- リセット オプション:
  - デフォルトのカメラ モードにリセットする
  - 設定を工場出荷時状態にリセットします
  - 全画像を削除します
- 自動電源オフ
- 自動方向付け
- 画面輝度
- カメラ情報: このメニュー コマンドは、カメラに関するさまざまな情報 (モデル、シリアル番号、ソフトウェア バージョンなど) を表示します。

7.17.2 手順

次の手順に従います。

1. カメラの画面をタップします。これにより、メイン メニュー ツールバーが表示されます。
2. [オプション] を選択します。これにより、ダイアログ ボックスが表示されます。
3. ダイアログ ボックスで、変更する設定をタップします。

4. ライブ モードに戻るには、左上の矢印 を繰り返しタップします。保存ボタンを一度押しても戻ることができます。

7.18 カメラの更新

7.18.1 一般

最新のカメラ ファームウェアを利用するため、カメラを更新して常に最新の状態に維持することが重要です。カメラを更新するときは FLIR Tools を使用します。

7.18.2 手順

次の手順に従います。

1. FLIR Tools を起動します。
2. カメラを起動します。
3. USB ケーブルを使ってカメラをコンピュータに接続します。
4. カメラが識別されると、FLIR Tools に、ようこそ画面が表示されます。ようこそ画面で、[アップデートの検索] をクリックします。

   FLIR Tools の [ヘルプ] メニューでも [アップデートの検索] をクリックできます。
5. 画面の指示に従います。

8 技術データ

8.1 オンライン視野計算機

http://support.flir.com にアクセスし、カメラ シリーズの写真をクリックすると、レンズとカメラのあらゆる組み合せに対する視野一覧表をご確認いただけます。

8.2 技術データに関する注記

FLIR Systems は、予告なく、いつでも仕様を変更する権限を有します。最近の変更については、http://support.flir.com をご確認ください。

8.3 正規版に関する注記

この文書の正規版は英語です。誤訳による相違がある場合には、英語版が優先されます。

最新の変更は英語版から反映されます。

8.4 FLIR C2

P/N: T505816
Rev.: 23380

画像および光学データ	
NETD	100 mK
視野	41° × 31°
最小フォーカス距離	• 赤外線: 0.15 m (0.49 フィート) • MSX: 1.0 m (3.3 フィート)
焦点距離	1.54 mm (0.061 インチ)
空間分解能 (IFOV)	11 mrad
F 値	1.1
画像周波数	9 Hz
フォーカス	フォーカス フリー

検出素子データ	
焦点面アレイ	非冷却マイクロボロメーター
スペクトル領域	7.5 ~ 14 µm
検出素子ピッチ	17 µm
赤外線センサー サイズ	80 × 60

画像表示	
ディスプレイ (カラー)	• 3.0 インチ • 320 × 240 ピクセル
ディスプレイの縦横比	4:3
自動方向付け	はい
タッチ スクリーン	はい、容量性
画像調整 (位置合わせキャリブレーション)	はい

画像表示モード	
赤外線画像	はい
可視画像	はい
MSX	はい
ギャラリー	はい

測定	
対象物温度レンジ	–10°C ~ +150°C (14 ~ 302°F)
精度	±2°C (±3.6°F) または 2% のうち大きい方 (公称 25°C (77°F) 時)。

測定分析	
スポットメーター	オン/オフ
放射率補正	はい (つや消し/準つや消し/準光沢仕上げ + カスタム値)
測定補正	• 放射率 • 反射見かけ温度

設定	
カラー パレット	• アイアン • レインボー • レインボー HC • グレー
設定コマンド	国に合わせた設定 (単位、言語、日付、時間形式)
言語	アラビア語、チェコ語、デンマーク語、オランダ語、英語、フィンランド語、フランス語、ドイツ語、ギリシャ語、ハンガリー語、イタリア語、日本語、韓国語、ノルウェー語、ポーランド語、ポルトガル語、ロシア語、中国語 (簡体)、スペイン語、スウェーデン語、中国語 (繁体)、トルコ語。

ライト	
出力	0.85 W
視野	60°

サービス機能	
カメラ ソフトウェアのアップデート	FLIR Tools を使用

画像の保存	
保存メディア	内部メモリー容量 (500 画像セット以上)
画像ファイル形式	• 標準 JPEG • 14 ビットの測定データ込み

ビデオ ストリーミング	
非解析用赤外線ビデオ ストリーミング	はい
可視ビデオ ストリーミング	はい

デジタル カメラ	
デジタル カメラ	640 × 480 ピクセル
デジタル カメラ、フォーカス	固定フォーカス

データ通信インターフェース	
USB、コネクタ タイプ	USB Micro-B: PC とのデータ転送
USB、標準	USB 2.0

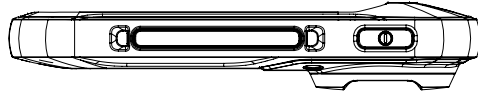
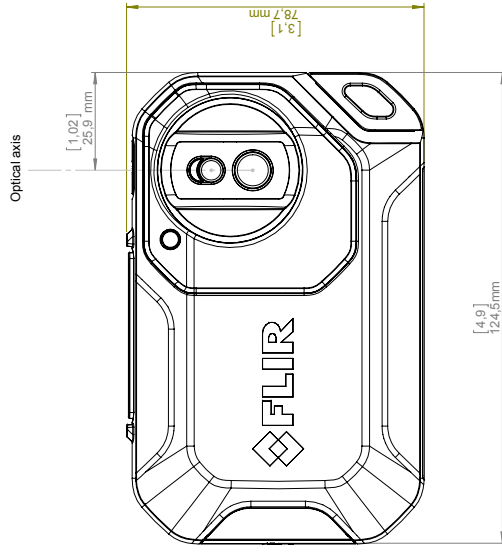
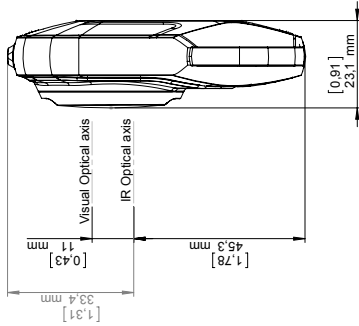
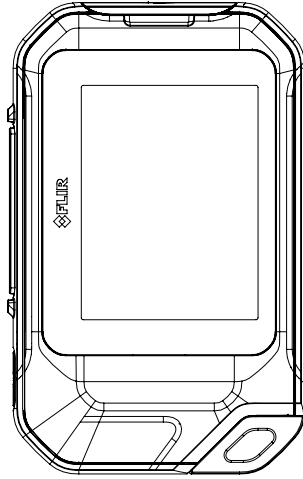
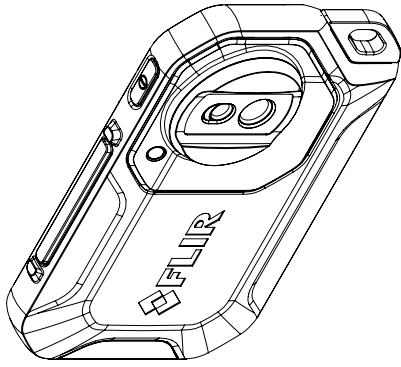
電源システム	
バッテリー タイプ	充電可能リチウムイオン ポリマー バッテリー
バッテリー電圧	3.7 V
バッテリー動作時間	2 時間
充電システム	カメラ内部に充電
充電時間	1.5 時間
外部電源動作	• AC アダプタ、入力 90 ~ 260 VAC • カメラへ 5 V 出力
電源管理	自動シャットダウン

環境データ	
動作温度レンジ	–10°C ~ +50°C (14 ~ 122°F)
保管温度レンジ	-40°C ~ +70°C (-40 ~ 158°F)
湿度 (動作、保管)	IEC 60068-2-30/24 時間相対湿度 95%、+25°C ~ +40°C (+77°F ~ +104°F)/2 サイクル
相対湿度	相対湿度 95%、+25°C ~ +40°C (+77°F ~ +104°F) 非結露

環境データ	
EMC	• WEEE 2012/19/EC • RoHs 2011/65/EC • C-Tick • EN 61000-6-3 • EN 61000-6-2 • FCC 47 CFR 第 15 章クラス B
磁界	EN 61000-4-8
バッテリー規制	UL 1642
保護構造	カメラ筐体およびレンズ: IP 40 (IEC 60529)
衝撃	25 g (IEC 60068-2-27)
振動	2 g (IEC 60068-2-6)

物理データ	
重量 (バッテリー込み)	0.13 kg (0.29 ポンド)
サイズ (長さ × 幅 × 高さ)	125 × 80 × 24 mm (4.9 × 3.1 × 0.94 インチ)
三脚架	いいえ
筐体材料	• PC および ABS、一部 TPE • アルミニウム
カラー	黒およびグレー

配送情報	
梱包、タイプ	ダンボール箱
同梱物	• 赤外線カメラ • ストラップ • 電源/充電器 (EU、英国、米国、中国、オーストラリア向けプラグ付き) • クイックガイド (印刷物) • USB メモリー スティック (説明書付き) • USB ケーブル
梱包、重量	0.53 kg (1.17 ポンド)
梱包、サイズ	175 × 115 × 75 mm (6.9 × 4.5 × 3.0 インチ)
EAN-13	4743254001961
UPC-12	845188010614
原産国	エストニア

Camera with build-in IR lens f=1,54mm
[0,58]
14,8 mm
Optical axis
[1,02]
25,9 mm
[1,31]
33,4 mm
[0,43]
11 mm
Visual Optical axis
IR Optical axis
[1,78]
45,3 mm
[0,91]
23,1 mm
[3,1]
78,7 mm
[4,9]
124,5mm
Modified
2014-12-18
Check
MABR
Drawn by
R&D Thermography
Denomination
Basic Dimensions Flir Cx
Size
A2
Scale
1:1
Sheet
1(1)
Drawing No.
T128439
Size
B

January 13, 2015 AQ320111

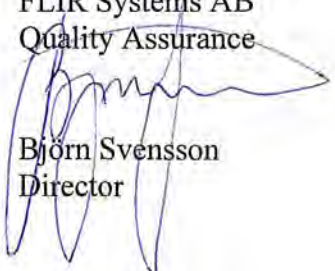
CE Declaration of Conformity

This is to certify that the System listed below have been designed and manufactured to meet the requirements, as applicable, of the following EU-Directives and corresponding harmonising standards. The systems consequently meet the requirements for the CE-mark.

Directives:

Directive 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility

Standards:

Information technology:	**EN 55022**	**Radio disturbance characteristics- (AC:2011)**
Information technology:	**EN 55024**	**Immunity characteristics- (CISPR 24:2010)**

Additional standards:

Emission:	**EN 61000-6-3;**	**Electro magnetic Compatibility Generic standards - Emission**
Immunity:	**EN 61000-6-2;**	**Electro magnetic Compatibility; Generic standards - Immunity**

System: **FLIR C2-series**

FLIR Systems AB
Quality Assurance

Björn Svensson
Director

11 カメラのクリーニング

11.1 カメラの筐体、ケーブルおよびその他のアイテム

11.1.1 液体

以下のいずれかの液体を使用してください。

- 温水
- 弱清浄液

11.1.2 備品

柔らかい布

11.1.3 手順

次の手順に従います。

1. 液体に布を浸す。
2. 布を絞って余分の水分を落とす。
3. 布で拭いてきれいにする。

 注意

カメラ、ケーブルおよびその他のアイテムに、溶剤や同様の液体を使用しないでください。損傷の原因になることがあります。

11.2 赤外線レンズ

11.2.1 液体

以下のいずれかの液体を使用してください。

- 30% 以上のイソプロピル アルコールを使用している市販のレンズ クリーニング液。
- 96% エチル アルコール (C_2H_5OH)。

11.2.2 備品

脱脂綿

11.2.3 手順

次の手順に従います。

1. 液体に脱脂綿を浸す。
2. 脱脂綿を絞って余分の水分を落とす。
3. 一度のみレンズを拭き、脱脂綿を捨てる。

 警告

液体を使用される前には、該当する MSDS (製品安全データシート) と容器に記載されている警告ラベルをお読みください。液体は取り扱いによっては危険な場合があります。

 注意

- 赤外線レンズは注意してクリーニングしてください。レンズには、反射防止膜が施されています。
- 赤外線レンズをクリーニングするときは、力を入れ過ぎないでください。反射防止膜が損傷を受けることがあります。

12 適用例

12.1 湿気および水による損傷

12.1.1 一般

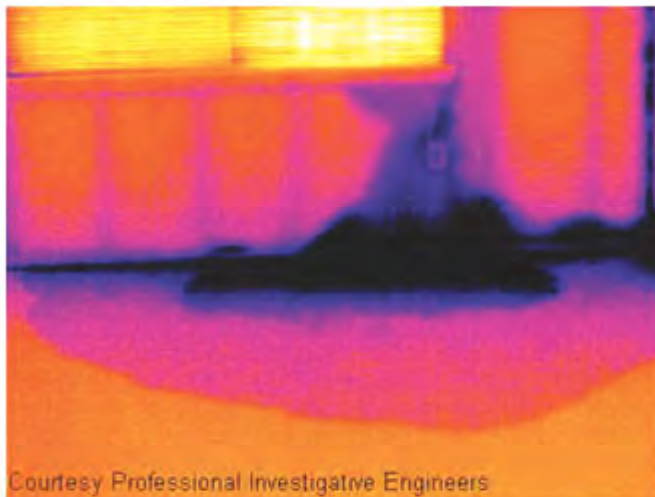
赤外線カメラを使用して、家の湿気および水による損傷を検出することができます。この理由としては、損傷を受けたエリアの熱伝導容量特性が異なること、および周囲の材料と熱の保有容量が異なることによります。

注

湿気および水による損傷の熱画像への表示方法には、多くの要素が関係しています。

例えば、材料および一日のうちの何時かによって、これらの部分の温度上昇や温度低下の程度が異なります。このため、湿気や水による損傷の検査を行うときに、別の方法も使用することが重要です。

12.1.2 図

以下の画像は、出窓の設置が正しくなかったために水が壁に浸透し、外壁が広範囲に水による損傷を受けている例を示しています。

12.2 ソケットの不完全な接続

12.2.1 一般

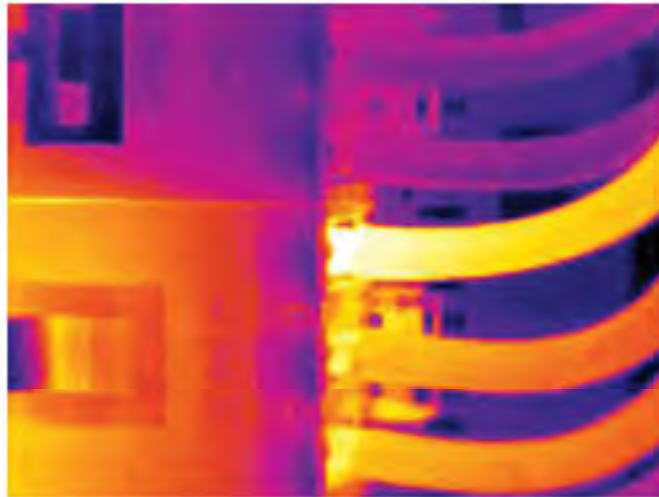
ソケットの接続タイプにより、不適切に接続されたワイヤがローカル温度の上昇を招くことがあります。引き込みワイヤとソケットの接続ポイントの接触部分が減るために温度が上昇し、漏電による火事の原因になることがあります。

注

製造業者によって、ソケットの構造は大きく異なります。このため、ソケットの違いが原因で、赤外線画像で共通する典型的な外観になります。

ワイヤとソケットの不完全な接続や抵抗の相違によって、ローカル温度が上昇することもあります。

12.2.2 図

以下の画像は、ケーブルとソケットの不完全な接続が原因で、ローカル温度が上昇していることを示しています。

12.3 酸化したソケット

12.3.1 一般

ソケット タイプおよび設置されたソケットの環境によって、ソケットの接続面に酸化が発生することがあります。ソケットに接続されると、これらの酸化によって抵抗が上昇し、赤外線画像で温度上昇して見えます。

 注

製造業者によって、ソケットの構造は大きく異なります。このため、ソケットの違いが原因で、赤外線画像で共通する典型的な外観になります。

ワイヤとソケットの不完全な接続や抵抗の相違によって、ローカル温度が上昇することもあります。

12.3.2 図

次の画像は、1 つのヒューズがヒューズ ホルダーの接続面の温度が上昇している一連のヒューズが表示されます。ヒューズ ホルダーの空間材料のため、温度上昇はここでは目には見えませんが、ヒューズのセラミック材料で見えます。

12.4 断熱材の損傷

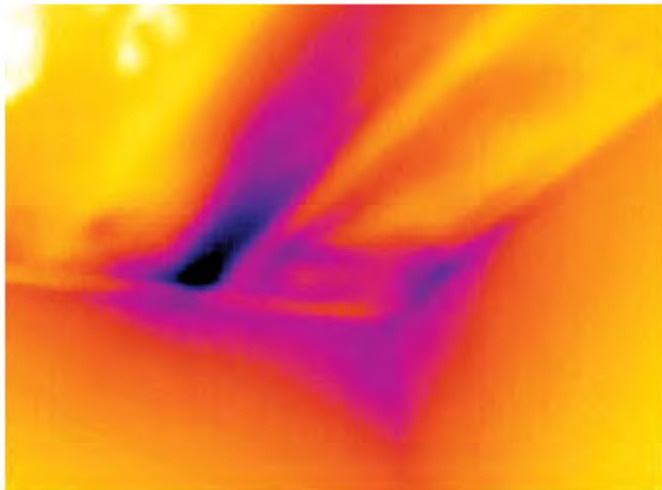
12.4.1 一般

断熱材損傷は、壁枠の空洞が確実に閉じられていないために時間の経過につれて、断熱材が損傷するために発生します。

断熱材損傷が発生している箇所は、正しく設置されている箇所に比べて熱伝導率特性が異なるため、また建物枠に空気が入り込んでいる部分が表示されるため、赤外線カメラで断熱材損傷を検出することができます。

> 注
>
> 建物の検査をするとき、建物内と外の温度差が少なくとも 10°C になるようにしてください。びょう、水道管、コンクリート柱および同様の構成要素は、赤外線画像では断熱材損傷として表示されます。小さな誤差が自然に発生してしまうこともあります。

12.4.2 図

以下の画像では、平らな屋根で断熱が不足しています。断熱が不十分なため、空気が平らな屋根に入り込んでしまい、赤外線画像で典型的な外観になっています。

12.5 隙間風

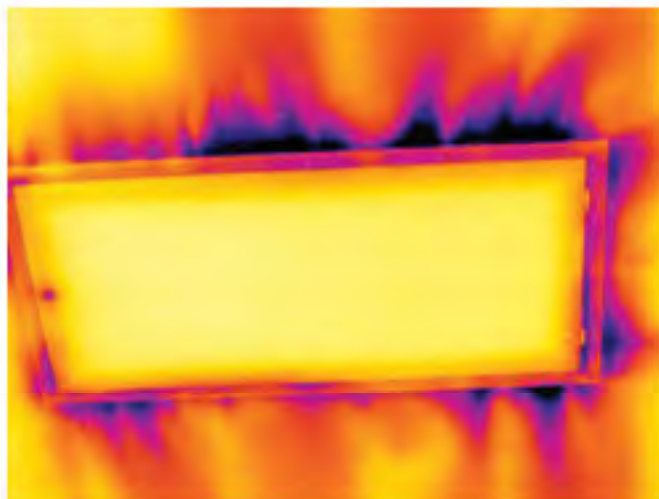
12.5.1 一般

隙間風は、すそ板、ドアや窓枠の周囲、および天井の飾りの上に発生することがあります。この種の隙間風は赤外線カメラで表示できます。冷たい風が周囲を冷却している状態で表示されます。

> 注
>
> 家の隙間風を調査するとき、室内が準常圧である必要があります。すべてのドア、窓、換気口を閉じ、台所のファンを赤外線画像の撮影前と撮影中に動作させておきます。
>
> 隙間風の赤外線画像は、典型的なストリーム パターンで表示されます。以下の画像では、このストリーム パターンをはっきり見ることができます。
>
> 床暖房回路からの熱のために、隙間風の効果が隠れてしまうことがあることに留意してください。

12.5.2 図

以下の画像では、取り付けの不完全な天井のハッチが、強い隙間風の原因になっていることを示しています。

13 FLIR Systems について

FLIR Systems は、高性能の赤外線イメージング システム開発のパイオニアとして 1978 年に創立され、商業、工業、官庁用のさまざまなアプリケーションに応じたサーマル イメージング システムのデザイン、製造、販売で世界をリードしています。現在、FLIR Systems には 1958 年以来赤外線技術ですぐれた業績をあげている 5 つの大きな会社が統合されています — スウェーデンの AGEMA Infrared Systems (旧社名 AGA Infrared Systems)、米国の 3 つの会社 Indigo Systems、FSI、Inframetrics、およびフランスの Cedip 社です。

2007 年以降、センサー技術分野で世界トップクラスの専門知識を有する以下の複数の会社がFLIR Systems により買収されました。

- Extech Instruments (2007年)
- Ifara Tecnologías (2008年)
- Salvador Imaging (2009年)
- OmniTech Partners (2009年)
- Directed Perception (2009年)
- Raymarine (2010年)
- ICx Technologies (2010年)
- TackTick Marine Digital Instruments (2011年)
- Aerius Photonics (2011年)
- Lorex Technology (2012年)
- Traficon (2012年)
- MARSS (2013年)
- DigitalOptics マイクロ オプティックス事業 (2013年)

PATENT SPECIFICATION

1,057,624

United States Patent Office

3,253,498

Patented May 31, 1966

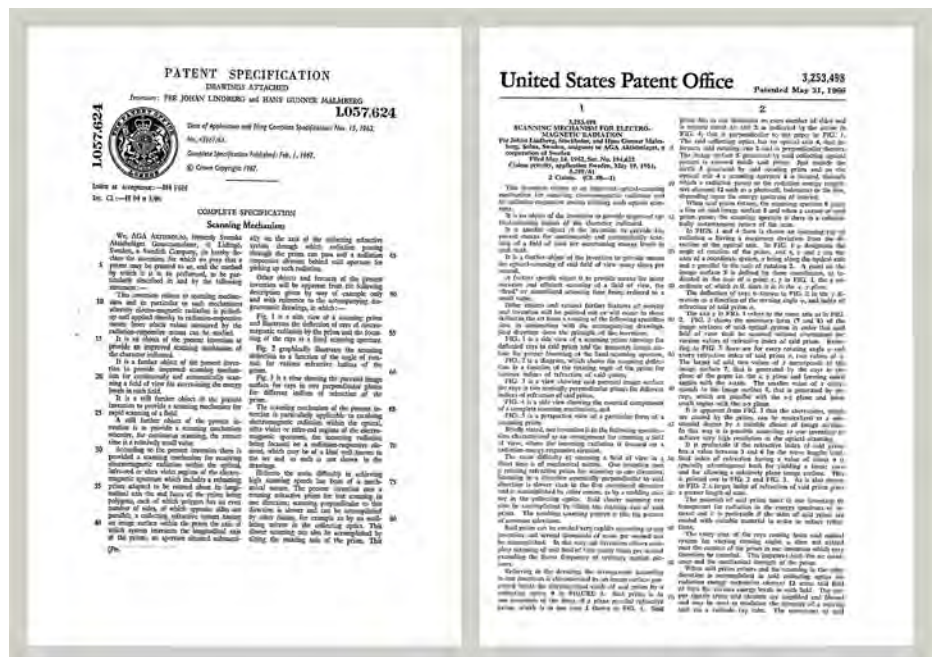



図 **13.1** 1960 年代前半からの特許文書

当社は、予測メンテナンス、研究開発、非破壊検査、プロセス制御とオートメーション、マシン ビジョン、その他多くのアプリケーション用に、世界各地で 350,000 台以上の赤外線カメラを販売してきました。

FLIR Systems は、アメリカに 3 つ (オレゴン州ポートランド、マサチューセッツ州ボストン、カリフォルニア州サンタバーバラ)、スウェーデン (ストックホルム) に 1 つの製造工場があります。2007 年には、エストニアのタリンにも製造工場が建設されました。ベルギー、ブラジル、中国、フランス、ドイツ、イギリス、香港、イタリア、日本、韓国、スウェーデン、アメリカに直轄の営業所を置き、世界中に張り巡らされた代理店のネットワークと共に国際的なお客様をサポートしています。

FLIR Systems は赤外線カメラ産業の革新を牽引してきました。既存のカメラの向上、新しいカメラの開発を継続的に続けることにより、市場需要を先取りしています。例を挙げると、産業検査用の初めてのバッテリー駆動のポータブル カメラ、初めての非冷却式赤外線カメラなどです。

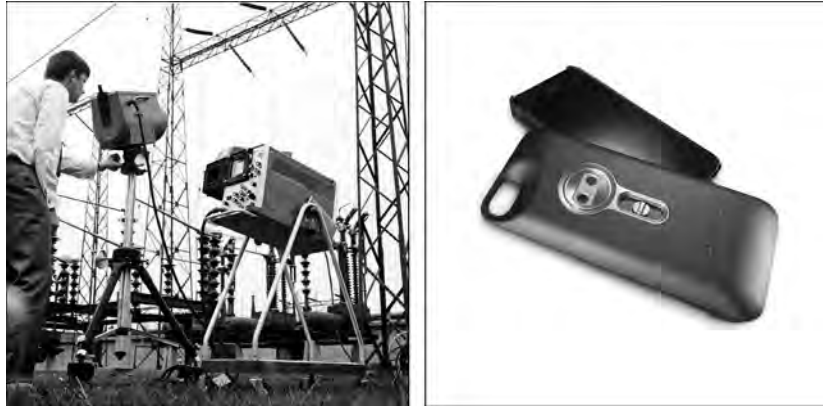



図 **13.2** 左: Thermovision Model 661、1969 年発売。カメラの重量は約 25 kg、オシロスコープは 20 kg、三脚は 15 kg です。オペレータは 220 VAC ジェネレーター セットと、液体窒素の入った 10 L 容器も必要です。オシロスコープの左側には、ポラロイドのアタッチメント (6 kg) があります。右: FLIR One、2014 年発売。iPhone に熱画像機能を提供するスライド式アタッチメントで重量は 0.9 kg です。

FLIR Systems は、カメラ システムの重要機構および電子部品をすべて自社製造しています。検出素子設計、レンズおよび電子システムの製造から、最終検査およびキャリブレーションまで、すべての生産プロセスは当社の技術者が実行し、指揮しています。これらの赤外線の専門家の豊富な経験により、赤外線カメラを構成するすべての部品の正確さと信頼性が確証されています。

13.1 赤外線カメラを超える機能

FLIR Systems は、高性能の赤外線カメラ システムを生産する以上のことが求められていることを認識しています。当社の使命は、最高のカメラとソフトウェアを提供することにより、当社の赤外線カメラ システムを利用するすべてのユーザーの生産性を向上することです。予測メンテナンス用のカスタム ソフトウェアについては、研究開発およびプロセス監視を社内で行っています。ほとんどのソフトウェアは、多数の言語で使用可能です。

すべての赤外線カメラに付属品を提供し、サポートしており、必要な赤外線の用途に応じて機器を適合させることができます。

13.2 知識の共有

当社のカメラは使いやすく設計されていますが、使い方に加えて、サーモグラフィについての知識を得ることも重要です。そのため、FLIR Systems は、独立した Infrared Training Center (ITC) を設立し、認定トレーニング コースを提供しています。ITC のコースに参加することにより、実践に基づいた専門知識を学ぶことができます。

ITC のスタッフは、赤外線理論を実行するために必要な適用サポートの提供も行っております。

13.3 カスタマー サポート

FLIR Systems は、世界的なサービス ネットワークを運営して、お客様のカメラがいつでも動作できるようにサポートしています。カメラに問題がある場合は、お近くのサービス センターにある機器やノウハウを活用して、できる限り短い時間で問題を解決します。そのため、カメラを遠方 (地球の反対側) に郵送したり、言葉の通じない担当者に問い合わせる必要はありません。

13.4 当社の製造・開発現場から

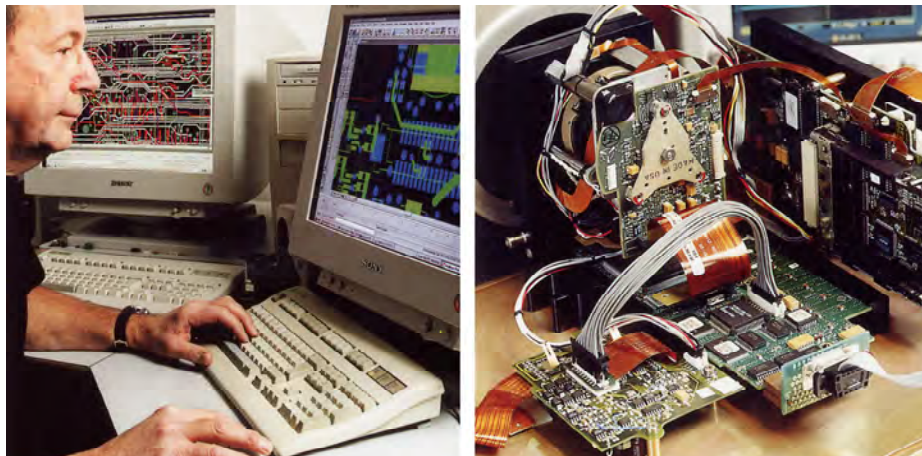



図 **13.3** 左: システム エレクトロニクスの開発。右: FPA 検出素子のテスト

図 **13.4** 左: ダイアモンド旋盤。右: レンズ磨き

14 用語集

FOV	視野。IR レンズを通して見ることのできる水平角です。
FPA	焦点面アレイ。IR 検出素子の一種です。
IFOV	瞬間視野。IR カメラの幾何学的分解能の単位です。
IR	赤外線
Laser LocatIR	カメラ前方のオブジェクトの特定箇所に当てるための、細く集束されたレーザー ビームを放射する電気光源です。
NETD	ノイズと等価になる温度差です。IR カメラの画像ノイズ レベルの単位です。
アイソサーモ	1 ℃ またはそれ以上の間隔で、温度の上側、下側、または中間をハイライトする機能です。
アイソサーモ空洞	一様な温度を持つ瓶の形をした放熱体です。瓶首から中を見ることができます。
オブジェクトパラメータ	対象物の測定が行われた環境、および対象物そのものを説明する値一式のことです（たとえば、放射率、反射見かけ温度、距離）。
オブジェクト信号	オブジェクトからカメラが受けた放射の量に関連する、キャリブレーションされていない値のことです。
サチュレーション カラー	外部温度の現在のレベルおよび間隔設定を含む領域がサチュレーション カラーで色づけされます。‘アンダーフロー’ カラーおよび‘オーバーフロー’ カラーを含むサチュレーション カラーです。変更が必要と思われる領域を示す、検出器によって飽和されたすべての部分にしるしを付ける、3 つ目の赤色サチュレーション カラーも含まれます。
サーモグラム	熱画像
スペクトル放射	単位時間、面積そして波長あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 (W/m²/μm) です。
デュアル アイソサーモ	1 つではなく、2 つのカラーバンドのアイソサーモです。
ノイズ	熱画像の望ましくない小さな障害です。
パレット	IR 画像を表示するために使用する色一式です。
ピクセル	「画像要素」を表しています。画像のスポット 1 つ 1 つのことです。
フィルタ	特定の赤外線波長域のみ透過する材料です。
レベル	温度目盛の中間値です。通常は、信号値として表現されます。
レンジ	IR カメラの現在の全体的な温度測定の限定されたレンジです。カメラにはいくつかのレンジがあります。現在のキャリブレーションを制限する 2 つの黒体温度によって表されます。
レーザー ポインター	カメラ前方のオブジェクトの特定箇所に当てるための、細く集束されたレーザー ビームを放射する電気光源です。
伝導	材料に熱が拡散されている過程のことです。
反射	オブジェクトによって反射された放射量と受けた放射との割合0 から 1 の間の数値になります。
可視像	IR カメラのビデオ モードです。ノーマル、つまりサーモグラフィ モードとは異なります。カメラがビデオ モードに設定されていると、通常のビデオ画像を記録します。カメラが IR モードに設定されていると、サーモグラフィ画像が記録されます。
吸収 (吸収率)	オブジェクトによって吸収された放射量と受けた放射との割合0 から 1 の間の数値になります。
基準温度	通常どおり測定された値と比較できる温度のことです。
外部光学系	外部レンズ、フィルタ、熱シールドなど、カメラと測定されているオブジェクトの間に取り付けられ部品のことです。

大気	測定されているオブジェクトとカメラの間のガス、通常は空気です。
大気透過率の予測値	ユーザーから提供される透過率値です。計算値に置き換えられます。
大気透過率の計算値	気温、空気の相対湿度、およびオブジェクトとの距離から計算された透過率の値です。
対流	重力または別の力によって流体が動き、この動きによって、ある場所から別の場所に熱が伝わる伝熱方式です。
手動調整	手動で特定のパラメータを変更して、画像を調整する方法です。
放射	オブジェクトまたはガスから電磁エネルギーが放射される過程です。
放射 (放射率)	オブジェクトから出た放射量と黒体の受けた放射量との割合0 から 1 の間の数値になります。
放射力	単位時間そして面積あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 (W/m^2) です。
放射強度	単位時間、単位領域あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 (W) です。
放射量	単位時間、面積そして角度あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 (W/m^2/sr) です。
放熱体	IR 放熱設備一式です。
温度スケール	IR 画像を現在表示している方法です。色を制限する 2 つの温度値として表されます。
温度レンジ	IR カメラの現在の全体的な温度測定の限定されたレンジです。カメラにはいくつかのレンジがあります。現在のキャリブレーションを制限する 2 つの黒体温度によって表されます。
温度差または温度の違い	減算によって求められた 2 つの温度の差の値です。
灰色体	各波長域で黒体のエネルギーと一定の比率のエネルギーを放射する物体のことです。
環境	測定されているオブジェクトに対して放出しているオブジェクトまたはガスです。
画像補正 (内部または外部)	撮影画像のさまざまな部分の検出感度の違いを補正したり、カメラの安定性を補正する方法です。
相対湿度	現在の空気中の水蒸気の質量と飽和状態で空気中に含まれる最大質量の比率を表す相対湿度。
空洞放射体	内側に吸収剤がついている瓶の形をした放熱体です。瓶首から中を見ることができます。
自動パレット	IR 画像が不規則な色の広がりを示して、冷たいオブジェクトと温かいオブジェクトを同時に表示している状態です。
自動調整	内部画像補正をカメラに実行させる機能です。
色温度	黒体の色の温度と特定の色が一致しています。
赤外線	不可視放射線です。波長は 2–13 μm です。
透過アイソサーモ	色の線形的な広がりを示すアイソサーモです。画像のハイライトされた部分を示すのではありません。
透過率	透過率はガスや材料によって異なります。透過率は、IR 放射が通過する量です。0 から 1 の間の数値になります。
連続アジャスト	画像を調整する機能です。この機能は常に動作し、画像の内容によって連続的に明るさとコントラストを調整します。
間隔	温度目盛の間隔の値です。通常は、信号値として表現されます。

黒体	まったく反射しないオブジェクトのことです。放射はすべて自身の温度によるものです。
黒体放射	黒体特性を持つ IR 放射装置は、IR カメラのキャリブレーションに使用されます。

15 熱測定技術

15.1 はじめに

赤外線カメラは物体から放出された赤外線を測定、撮像します。赤外線は物体表面温度の作用であるため、カメラはこの温度を計算し表示することができます。

ただし、カメラが測定した赤外線は物体の温度のみではなく、放射率によっても作用します。赤外線は周辺からも発生して物体に反射します。物体からの赤外線と反射した赤外線は、大気の吸収作用にも影響を受けます。

このため、温度を正確に測定するには多数の異なる放射元の効果を補正する必要があります。この補正はカメラによってオンラインで自動的に行われます。ただし、カメラに以下のオブジェクトパラメータを提供する必要があります。

- 物体の放射率
- 反射源見かけ温度
- 物体とカメラの距離
- 相対湿度
- 大気の温度

15.2 放射率

正確に設定すべき最も重要なオブジェクトパラメーターは放射率、つまり、同じ温度の完全黒体と比較して物体からどの程度の赤外線が発射されているかを表す測定値です。

通常、物体の素材と表面処理によって放射率は約 0.1 から 0.95 の範囲で表されます。高精度に研磨された表面 (ミラー) では 0.1 未満になることもあり、また、酸化したりペイントされた表面では高い放射率を持つ場合もあります。可視スペクトルにおける色に関わらず、油性ペイントの赤外線の放射率は 0.9 を超えます。人間の皮膚の放射率はほぼ 0.97 から 0.98 です。

酸化していない金属の場合、完全な不透明性と高い反射性という極端なケースを示し、波長によって大きく異なることはありません。そのため、金属の放射率は低くなります。ただし、金属の放射率は温度に比例して増加します。非金属の場合、放射率は高くなりがちで、温度に比例して減少します。

15.2.1 サンプルの放射率を見つける

15.2.1.1 ステップ1： 反射された明らかな温度の決定

下記の 2 つの方法のうちいずれかを使用して、反射見かけ温度を決定します。

15.2.1.1.1 方法 *1*： 直接法

次の手順に従います。

1. 入射角 = 反射角 (a = b)を考慮し、考えられる反射源を探してください。

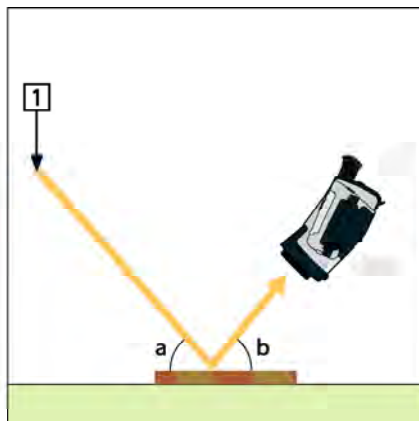



図 **15.1** 1 = 反射源

2. 反射源がスポット源の場合、ダンボールなどで遮って反射源を修正してください。

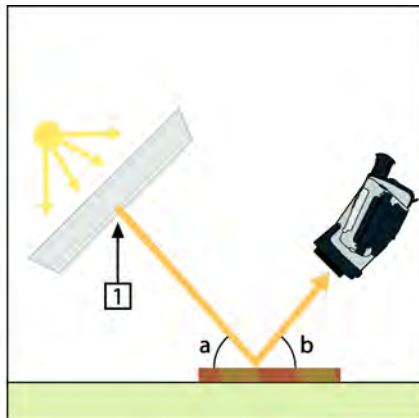



図 **15.2** 1 = 反射源

3. 以下の設定を使って、反射源からの放射線の強度 (= 見かけ温度) を計測します。
   - 放射率 : 1.0
   - D_{obj} : 0

   次の 2 つの方法のいずれかを使用して、放射線の強度を測定できます。

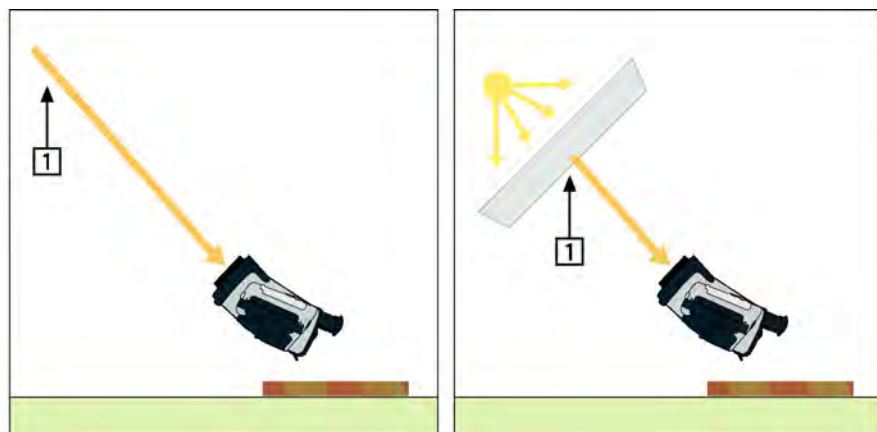



図 **15.3** 1 = 反射源

> 注
>
> 熱電対を使って反射見かけ温度を計測するのは 2 つの重要な理由からお勧めできません。
>
> - 熱電対は放射線の強度を計測しない
> - 熱電対は表面に非常に良い熱接触を必要とし、それは通常、熱アイソレーターによってセンサーを糊付け及びカバーして行われる。

15.2.1.1.2 方法 *2* : 反射法

次の手順に従います。

1. アルミホイルの大きなシートを細かくします。
2. 細かくしないアルミホイルを同じサイズのボール紙に貼り付けます。
3. 測定する物体の前に、そのボール紙を置きます。アルミホイルが貼られている面がカメラの側を向いていることを確認します。
4. 放射率を 1.0 に設定します。

5. アルミホイルの反射温度を測定し、記録します。

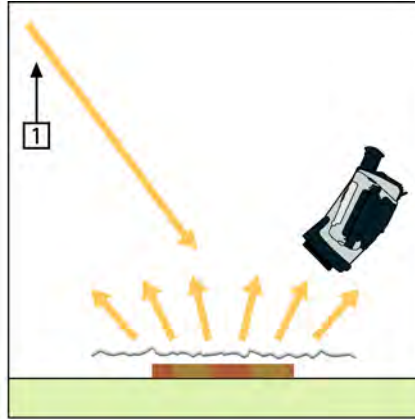



図 **15.4** アルミホイルの見かけ温度を測定します。

15.2.1.2 ステップ2： 放射率の決定

次の手順に従います。

1. サンプルを置く場所を選択してください。
2. 以前の手順に応じて、反射された明らかな温度を決定及び設定してください。
3. サンプル上に高い放射率を持つ電子テープを置いてください。
4. サンプルを最低、室温より20K暖めてください。 温めるのは均等でなくてはなりません。
5. カメラをフォーカス及び自動調整し、画像をフリーズします。
6. レベル と スパン を画像の最高の明るさとコントラスト用に調整します。
7. テープの放射率に設定します (通常 0.97)。
8. 以下の計測機能のひとつを使って、テープの温度を計測してください。
   - アイソサーモ (温度の測定と、サンプルが均等に温まっていることの確認の両方に有用)
   - スポット (より単純)
   - ボックス 平均(異なる放射率を持つ表面に最適)
9. 温度を記録します。
10. 計測機能をサンプル表面に動かします。
11. 以前の計測と同じ温度になるまで放射率設定を変更してください。
12. 放射率を記録します。

注

- 無理な対流は避けてください。
- スポット反射を発生しない熱的に安定した環境を探してください。
- 不透明で、高い放射率を持つテープを使ってください。
- この方法はテープとサンプルの表面が同じ温度であることを条件とします。 同じでない場合、放射率の計測が間違っていることになります。

15.3 反射見かけ温度

このパラメータは、物体が反射する放射を補正するために使用されます。放射率が低く、物体の温度が反射温度と比較的大きく異なっている場合、反射温度を正しく設定し、反射見かけ温度を正しく補正することが重要です。

15.4 距離

距離とは、物体とカメラの前面レンズとの間の距離を指します。このパラメータは、次の 2 つの事象を補正するために使用されます。

- 対象からの放射が物体とカメラの間の大気によって吸収される
- 大気そのものからの放射がカメラによって検出される

15.5 相対湿度

カメラは、伝達率が大気の相対湿度にいくらか依存しているという事象についても補正できます。この補正を行うには、相対湿度を正しい値に設定する必要があります。短距離および通常湿度の場合、相対湿度は通常、50% の初期値のままにしてかまいません。

15.6 その他のパラメータ

上記だけでなく、FLIR Systems 製のカメラおよび解析プログラムの中には、次のパラメータを補正できるものもあります。

- 大気温度 – つまり、カメラと対象物との間の大気の温度
- 外部光学系温度 – つまり、カメラ前面で使用される任意の外部レンズや窓材の温度
- 外部光学系透過率 – つまり、カメラ前面で使用される任意の外部レンズや窓材の伝達率

16 赤外線技術の歴史

1800 年まで、電磁波スペクトルに赤外線部分が存在することなど誰も想像していませんでした。熱放射の一種としての赤外線スペクトル (または「赤外線」) そのものの重要性は、Harschel によって 1800 年に赤外線部分が発見されたときよりも特筆すべきものではなくなっています。

図 **16.1** William Herschel 卿 (1738–1822)

新しい光学材料の研究中に偶然発見されたものでした。William Herschel 卿 (イギリス王ジョージ三世の王室天文学者、天王星の発見で有名) は、太陽観測中に望遠鏡の太陽画像の明るさを低減するための光学フィルタ材料を研究していました。異なる色ガラスのサンプルでテストを行うと、明るさは同じように低減されていましたが、サンプルの中には太陽熱をほとんどまったく通さないことに興味をそそられました。それに対し、他のサンプルでは太陽熱をほとんど透過させ数秒観察するだけで目を損傷する危険があるほどでした。

Herschel は、熱を最大限に減少させると同時に明るさも希望通りに減少させるただ 1 つの素材を見つけるために、ただちに系統だった実験を行う必要あると確信しました。実験は、実際にニュートンのプリズム実験を繰り返す方法で始まりましたが、スペクトルの視覚的な光の分布強度よりも、加熱効果を探すものでした。まず、感度の高い水銀封入ガラス温度計のバルブをインクで黒くし、これを放射線検出器として使用して、太陽光をガラス プリズムに通すことで机の上にさまざまな色のスペクトルを形成させ、その加熱効果をテストしていきました。太陽光の外に置いた他の温度計は、制御の役目を果たしました。

黒くした温度計をスペクトルの色に沿ってゆっくり動かしていくと、青紫の端から赤い端へ向かうにしたがって、温度計の目盛りは一定に上昇していきました。これは、まったくの予想外の結果というわけではありませんでした。イタリアの研究者、Landriani が、すでに 1777 年に似たような実験を行い、同様の結果を得ていたからです。ただし、Herschel の特筆すべき点は、加熱効果が最大に達するポイントがあるはずであり、スペクトルの可視部分に限定された測定では、このポイントの検索に失敗したと初めて気付いたことにあります。

図 **16.2** Marsilio Landriani (1746 ~ 1815)

温度計を赤いスペクトルの端から暗い領域に動かしたところ、Herschel は温度が引き続き上昇することを確認しました。彼が発見した最高点は、赤色の端を越えたところにありました。これが今日「赤外線波長域」として知られている部分です。

Herschel がこの発見を発表したとき、彼は電磁波スペクトルのこの新しい領域を「熱スペクトル」と表現しました。 Herschel は、その放射そのものを「黒体熱」や単に「不可視光線」と呼びました。皮肉なことに、一般的な見方とは異なり、「赤外線」

という用語は Herschel から発しているのではありません。その言葉は 75 年ほど後に印刷物に登場しましたが、依然としてだれから端を発しているかは分かっていません。

Herschel の初期実験でのプリズム ガラスの使用は、赤外線波長域の実在性について、当初同時代の研究者との間に論議を呼びました。別の研究者が、Herschel の研究を実証するため、いろいろな種類のガラスを見境なく使用して、赤外線部の異なる透明性を見出しました。彼の実験によって、Herschel は制限されたガラスの透明性から熱放射の新たな発見に気づきました。彼は、赤外線の研究が反射要素によって排他的に使用される運命にあると結論せざるを得ませんでした。幸いにも、イタリア人の研究者によって、彼の理論の正しさが証明されました。Melloni は、自然岩塩 (NaCl) が赤外線を通すことを発見しました。岩塩は、レンズやプリズムを作ることができるほど大きな天然の結晶です。この結果により、岩塩は主な赤外光学材料となり、1930 年に合成結晶成長の技術が習得されるまで 100 年ほどにわたって使用されました。

図 **16.3** Macedonio Melloni (1798 ~ 1854)

温度計は、放熱検出器として 1829 年まで使用されました。この年に Nobili が熱電対を発明しました。(Herschel の温度計は 0.2 °C まで読むことができましたが、後のモデルでは 0.05 °C まで読むことができるようになりました)その後、飛躍的な進歩があり、Melloni が、複数の熱電対を接続して最初の熱電対列を作成しました。この新しい機器は、当時熱放射の検出に使用されていた温度計の 40 倍以上も感度が高いものでした。人からの熱を 3 メートル離れたところから検出する能力がありました。

初めての「熱写真」の撮影は、 John Herschel の研究の結果 1840 年に可能になりました。John Herschel は赤外線の発見者および有名な天文学者の息子であり、親譲りの才能がありました。薄い油膜の蒸発の違いによって、露出した熱パターンを油膜に当てると、反射光によって熱画像を見ることができます。油膜の干渉効果によって肉眼で画像を確認できます。John は、紙に熱画像の簡単な記録を取ることも考案し、「サーモグラフ」と呼びました。

図 **16.4** Samuel P. Langley (1834 ~ 1906)

赤外線検出器の感度の向上は、非常にゆっくりしたものでした。次の飛躍的な前進は、Langley によるもので、1880 年にボロメータが発明されました。この装置は、ホイートストン ブリッジ回路の 1 つのアームに接続された白金の黒い薄片で構成され、その上に赤外線が焦点を合わせ、それに対して感度の高い検流計が反応するものです。この装置では、400 メートル離れたところにいる牛の熱を検出できたと言われています。

英国の科学者、James Dewar 卿は初めて液化ガスを冷却材 (たとえば、温度が -196 °C の液体窒素) として使用し、低温調査を行いました。1892 年に彼は特殊な真空断熱コンテナを発明し、液化ガスを数日保管できるようにしました。よく使われている「魔法瓶」は、彼の発明が元になっており、熱い飲み物や冷たい飲み物を保存しておくことができます。

1900 年から 1920 年の間に、世界の発明者たちが赤外線を「発見」しました。多くの特許が、人、大砲、飛行機、船や氷山を検出する機器のために発行されました。近代において、最初の操作システムは 1914 年から 1918 年の戦争中に開発され始め、両陣営において軍事目的で赤外線の研究プログラムが進められました。これらのプログラムには、敵の侵入の検出、遠隔温度検出、確実な通信、ミサイル誘導のための実験的なシステムが含まれます。この期間にテストされた赤外線検知システムは、接近してくる飛行機であれば 1.5 キロメートル、人であれば 300 メートル離れたところから検出できました。

この時代までのほとんどの検知システムはボロメータのさまざまな概念を元にしたものでしたが、次の大戦までの期間に、画像変換機と光子検出器という 2 つの革新的な赤外線検出器が開発されました。当初、歴史上初めて見張りが実際の暗闇でも見ることができようになったため、軍事面から画像変換機は大きな注目を受けました。ただし、画像変換機の感度は赤外線波長域の付近に限定されており、ほとんどの軍事標的 (兵士など) は赤外線検出ビームで照らされている必要がありました。これは、見張りの場所を同じように装備している敵の見張りに明らかにしてしまう危険があったため、画像変換機への軍事面での関心が薄れていったのは当然のことと言えます。

「能動的」熱画像システム (検出ビームが必要) の軍事戦術的に不利な点によって、続く 1939 年から 1945 年までの戦争で研究に拍車がかかり、多くの軍事特殊機関が赤外線検知プログラムで、非常に繊細な光子検出機による「受動」システム (検出ビーム不要) を開発するようになりました。この期間は、軍事機密規則によって、熱画像技術の状況の公開が完全に禁止されるようになりました。1950 年半ばに機密が解除されるようになり、このときから民間の科学者や産業で、十分の熱画像機器がついに使用できるようになりました。

17 サーモグラフィの理論

17.1 はじめに

赤外線の被写体と関連するサーモグラフィ技術は、赤外線カメラを使用しようとしている多くの人々にとって未だ新しいままです。このセクションでは、サーモグラフィの背後にある理論について説明します。

17.2 電磁スペクトル

電磁スペクトルは、「バンド」と呼ばれる多数の波長領域に任意に分割され、赤外線の生成および検出に使用する方式で識別されます。電磁スペクトルのさまざまなバンドにある赤外線は基本的に同じです。赤外線はすべて同じ法則で規定されており、波長による違いがあるのみです。

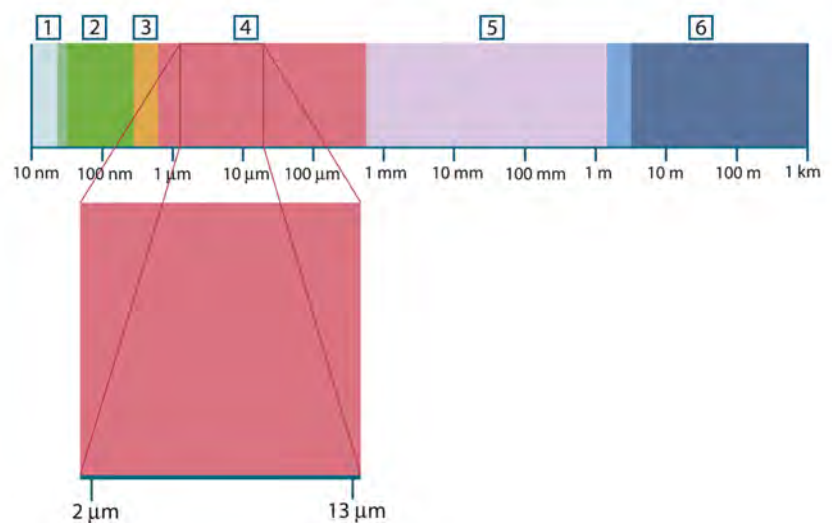



図 **17.1** 電磁スペクトル。1：X 線、2：紫外線、3：可視像、4：赤外線、5：マイクロ波、6：電波。

サーモグラフィは赤外線スペクトル バンドを利用します。短波長の末端部では、境界は可視光の限界点に深い赤色で存在します。長波長の末端部では、境界はミリメートルの範囲でマイクロ波の電波長と融合します。

多くの場合、赤外線バンドはさらに 4 つの小さなバンドに再分割されます。こうしたバンドの境界も任意に選択されます。そうしたバンドには、近赤外線 (0.75–3 µm)、中赤外線 (3–6 µm)、遠赤外線 (6–15 µm) および極赤外線 (15–100 µm) があります。波長は µm (マイクロメートル) で提供されますが、このスペクトル範囲での測定には他の単位も未だよく使用されています (例: ナノメートル (nm)、オングストローム (Å)。

それぞれの波長測定値の関係は次のとおりです。

$$10\,000\ \text{Å} = 1\,000\ \text{nm} = 1\ \mu = 1\ \mu m$$

17.3 黒体放射

黒体とは、任意の波長にて、黒体上に衝突する放射線をすべて吸収する物体のことです。放射線を発散する物体に関して明らかに誤った呼び名である「黒」については、Kirchhoff の原則 (*Gustav Robert Kirchhoff*, 1824–1887 より命名) で説明されています。この原則には、任意の波長にてすべての放射線を吸収できる物体は、放射線の発散も同様に可能であると記載されています。

図 **17.2** Gustav Robert Kirchhoff (1824 ~ 1887)

黒体源の構造は原理的には非常に単純です。不透明な吸収素材で作られた均一温度の空洞にある開口部の放射特性は、黒体の特性とほぼ同じです。完全な放射線吸収体へのこの法則の実際の用途には、いずれかの側面にある開口部を除いて光を遮断された箱があります。その穴に入り込む放射線は、反射が繰り返されることによって分散され吸収されるため、微量の断片のみが場合によっては逃れられる程度です。開口部で取得される黒度は、黒体とほぼ等しく、すべての波長に対してほぼ最適です。

こうした均一温度の空洞に適切なヒーターを備えると、空洞は空洞放射体と呼ばれるものになります。均一の温度に暖められた均一温度の空洞は黒体放射を生成します。この黒体放射の特徴は、空洞の温度のみにより決まります。こうした空洞放射体は一般的に、ラボにて温度基準ゲージの放射源として、たとえば FLIR Systems カメラなどのサーモグラフィ機器のキャリブレートに使用されます。

黒体放射の温度が 525°C (977°F) を超えると、光源が見えるようになり始め、目にはもはや黒とは写らなくなります。これは放射体の初期の赤い熱温度であり、さらに温度が上昇するにつれてオレンジや黄色になります。実際、物体のいわゆる色温度とは、同じ色を得るために黒体が熱せられる必要がある温度と定義されています。

ここで、黒体から発散される放射線を説明する 3 つの式について考えてみましょう。

17.3.1 Planck の法則

図 **17.3** Max Planck (1858 ~ 1947)

Max Planck (1858–1947) は、黒体からの放射線のスペクトル分布を次の演算式を使用して説明することができました。

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5\left(e^{hc/\lambda kT}-1\right)} \times 10^{-6} [Watt/m^2, \mu m]$$

ここで、

$W_{\lambda b}$	波長 λ での黒体スペクトル放射発散度。
c	光速 = 3 × 10^8 m/s
h	Planck の定数 = 6.6 × 10^{-34} ジュール秒
k	Boltzmann の定数 = 1.4 × 10^{-23} ジュール/K

T	黒体の絶対温度 (K)。
λ	波長 (μm)。

 注

カーブのスペクトル放射は W/m²、μmで表現されるため、10^{-6} の係数が使用される。

さまざまな温度をグラフで描画すると、Planck の演算式は一連の曲線を生成します。いずれかの特定の Planck 曲線に従い、スペクトル発散度は λ = 0 にてゼロとなり、急速に上昇して波長 λ_{max} にて最大となります。これを通過すると、非常に長い波長にて再度ゼロに近づきます。温度が上昇するにつれて、最大値が発生する波長は短くなります。

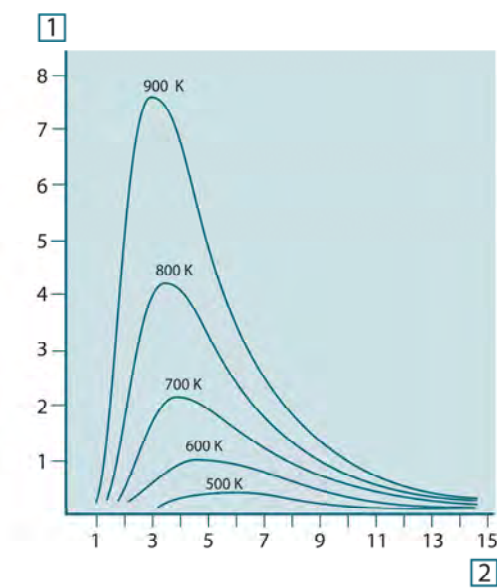



図 **17.4** Planck の法則に従ってさまざまな絶対温度に対して描画された黒体スペクトル放射発散度。1 : スペクトル放射発散度 (W/cm² × 10³(μm))、2 : 波長 (μm)

17.3.2 *Wien* の変位の法則

λ に関して Planck の演算式を差別化し、最大値を見つけると、次の演算式が得られます。

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}[\mu m]$$

これは、Wien の演算式 (*Wilhelm Wien*, 1864–1928 より命名) であり、熱放射体の温度が上昇するにつれて色が赤からオレンジまたは黄色へ変化する一般的な観察を数学的に表したものです。色の波長は λ_{max} に対して計算される波長と同じです。任意の黒体温度の λ_{max} 値の適切な近似値は、経験則 3 000/T μm を適用することで得られます。そのため、青みがかった白色の光を発散するシリウスなどの非常に熱い星 (11 000 K) は、0.27 μm の波長にて、不可視の紫外線スペクトル内で発生するスペクトル放射発散度のピークで放射します。

図 **17.5** Wilhelm Wien (1864 ~ 1928)

太陽 (約 6 000 K) は可視光スペクトルの中間の約 0.5 µm をピークとして黄色の光を発散します。

室温 (300 K) では、放射発散度のピークは遠赤外線にて 9.7 µm であり、液体窒素の温度 (77 K) では、ほぼ微少な量の放射発散度は超赤外線波長にて 38 µm となります。

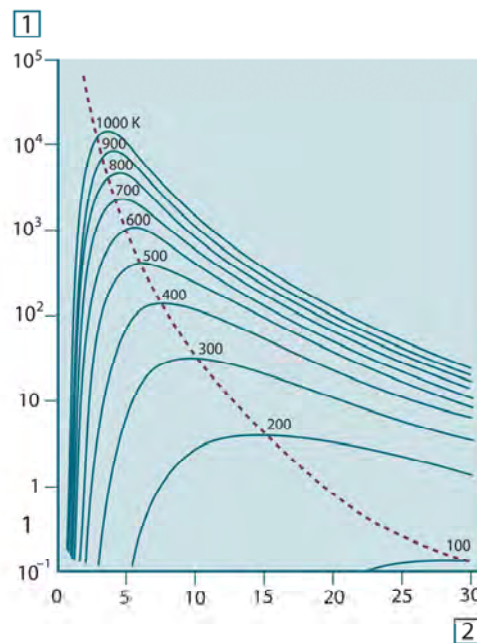



図 **17.6** 100 K から 1000 K までの半対数目盛で描画された Planckian の曲線。点線は、Wien の変位の法則で説明した各温度での最大放射発散度の軌跡を表しています。1 : スペクトル放射発散度 (W/cm2 (µm))、2 : 波長 (µm)。

17.3.3 Stefan-Boltzmann の法則

Planck の演算式を λ = 0 から λ = ∞ に積算すると、以下の黒体の総合放射発散度 (W_b) が得られます。

$$W_b = \sigma T^4 \ [\mathrm{Watt/m^2}]$$

これは、Stefan-Boltzmann の演算式 (*Josef Stefan* (1835 年 ~ 1893 年) および *Ludwig Boltzmann* (1844 年 ~ 1906 年より命名) であり、黒体の総合放射力がその絶対温度の 4 の累乗と比例することを表しています。グラフ化すると、W_b は、特定の温度に対する Planck の曲線の下部の領域を表しています。λ = 0 から λ_{max} までの間隔の放射発散度は全体の 25% のみであることが示され、これは可視光スペクトル内に入る太陽の放射線量とほぼ同じです。

図 **17.7** Josef Stefan (1835 ～ 1893)、および Ludwig Boltzmann (1844 ～ 1906)

Stefan-Boltzmann の演算式を使用して、300 K の温度および約 2 m^2 の外面エリアで人体から放射される力を計算すると、1 kW となります。体温または衣服を追加した温度と大きく異ならない室温では、周囲表面からの放射線の補正吸収がなければ、この力損失を維持することはできません。

17.3.4 非黒体発散体

これまで、黒体放射体および黒体放射について説明してきました。しかし、実際の物体はほとんどの場合、特定のスペクトル間隔では黒体の性質に近づくことはありますが、拡張された波長領域を超えるとこうした法則には当てはまりません。たとえば、ある種の白色塗料が可視光スペクトルにおいて完全な白に見える場合がありますが、約 2 µm では「灰色」に、3 µm を超えると、ほぼ「黒」になります。

実際の物体が黒体のように振舞わなくさせる、起こりうるプロセスは 3 つあります。つまり、入射放射線の成分 α は吸収され、成分 ρ は反射し、成分 τ は透過されます。こうした 3 つの成分すべては多かれ少なかれ波長に依存しているため、下付き文字 λ は、その定義のスペクトル依存性を暗示するために使用されています。そのため、

- 分光吸収率 α_λ = 物体に入射する分光放射と物体が吸収する分光放射の比。
- 分光反射率 ρ_λ = 物体に入射する分光放射と物体が反射する分光放射の比。
- 分光透過率 τ_λ = 物体に入射する分光放射と物体を透過する分光放射の比。

これら 3 つの要因の合計は必ず任意の波長における全体となるため、次の関係が成り立ちます。

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

不透明な素材では $\tau_\lambda = 0$ であり、関係は次のように簡素化されます。

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

放射率と呼ばれる別の成分は、特定の温度にて物体が生成する黒体の放射放射率の成分 ε を説明するのに必要となります。よって、次の定義が得られます。

分光放射率 ε_λ = 同一の温度および波長において黒体から発せられる分光放射と物体から発せられる分光放射の比。

数学的に表現すると、これは、物体の分光放射率と黒体の分光放射率の比として次のように記載できます。

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

一般的に、放射源には 3 つの種類があり、それぞれの分光放射率が波長に応じて変化する方法によって識別されます。

- 黒体、 $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$
- 灰色体、$\varepsilon_\lambda = \varepsilon$ = 1 未満の定数
- 選択放射体、ε は波長に応じて変化する

Kirchhoff の法則によると、どんな素材の場合も、物体の分光放射率と分光吸収率は、任意の特定の温度および波長では等価となります。つまり、

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

得られた結果から、不透明な素材の場合は次のようになります ($\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$ であるため)。

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

よく磨かれた素材の場合、ε_λ はゼロに近づき、完全な反射素材 (例: 完璧な鏡) の場合は次のようになります。

$$\rho_\lambda = 1$$

灰色体放射体の場合、Stefan-Boltzmann の演算式は次のようになります。

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

これは、灰色体の総放射が、灰色体からの ε の値に比例して低下させた同じ温度での黒体と同じになることを示しています。

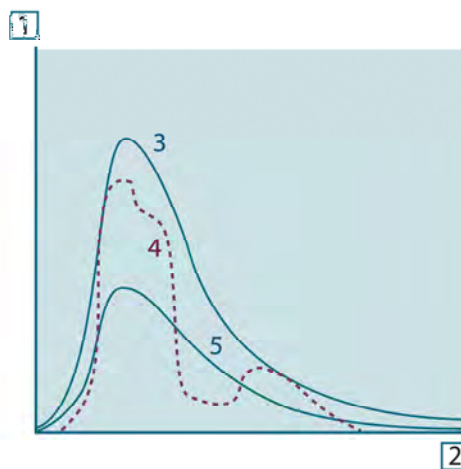



図 **17.8** 3 種類の放射体の分光放射放射率。1： 分光放射放射率、2：波長、3：黒体、4：選択放射体、5：灰色体。

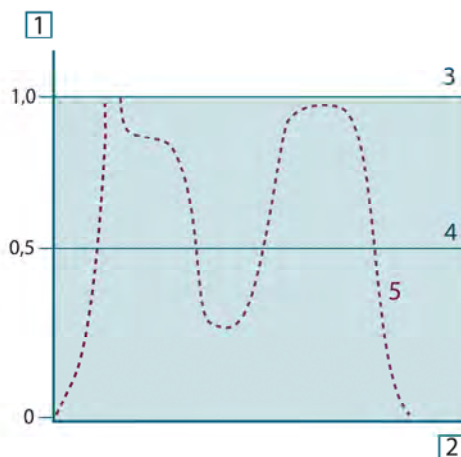



図 **17.9** 3 種類の放射体の分光放射率。1： 分光放射率、2：波長、3：黒体、4：灰色体、5：選択放射体。

17.4 赤外線半透過性素材

次に、非金属の半透過体、つまり、厚いプラスチック素材の平板などについて考えてみましょう。板を熱すると、その体積内で生成される放射線は、一部を吸収されながら素材を通して表面に向かって働きます。さらに、放射線が表面に達すると、そのうちのいくらかは内部に反射し戻されます。反射しもどされた放射線はふたたび一部が吸収されながら、反対側の表面に到達し、その表面からほとんどの放射線は脱出し、

一部は再度反射し戻されます。この累進的な反射はだんだん弱くなりますが、板の総放射率を得る際にはすべてを総計する必要があります。結果として得られる等比級数を合計すると、半透過性の板の有効な放射率は次のようになります。

$$\varepsilon_\lambda = \frac{(1-\rho_\lambda)(1-\tau_\lambda)}{1-\rho_\lambda\tau_\lambda}$$

板が不透明となると、この演算式は単一の演算式に縮小されます。

$$\varepsilon_\lambda = 1-\rho_\lambda$$

この最終的な関係式は、放射率を直接測定するより反射率を測定するほうが容易である場合も多いため、特に便利な式です。

18 測定演算式

すでに述べたとおり、物体を表示する場合、カメラが受け取る放射線は物体自体からだけではありません。物体表面を介して反射される周辺からの放射線も収集されます。これらの 2 つの放射線の影響は、測定過程に存在する大気によってある程度吸収されます。さらに、大気自体からの 3 つ目の放射線の影響が加わります。

測定状態についてのこの説明は、下図に示すとおり、現実の測定においても同様です。無視されたものには、たとえば、大気中に分散する太陽光や視界外部のきわめて強い放射線源からの迷放射線などがありえます。しかし、こうした妨害は定量化が難しく、ほとんどの場合、それらは無視できるほどに小さいものです。無視できない場合、測定構成は、少なくとも教育を受けたオペレータには妨害のリスクが明白である場合が多いのです。その場合、たとえば、測定の向きを変更したり、きわめて強い放射線源を遮断したりして妨害を避けるために測定状態を修正するのはオペレータの対応力となります。

下図を使用して、キャリブレートしたカメラ出力からの物体温度を計算するための演算式を得ることができます。

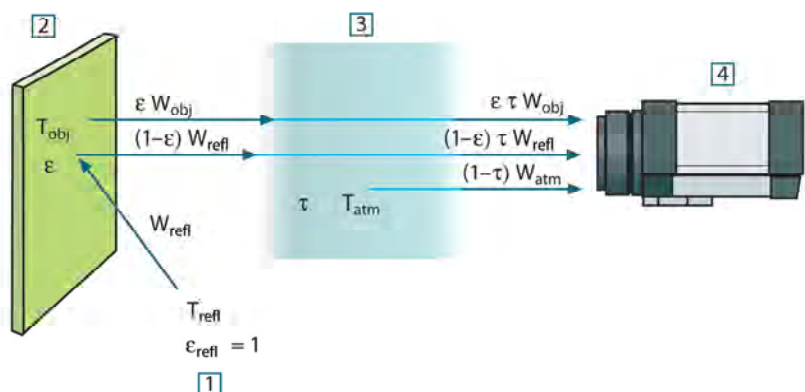



図 **18.1** 一般的なサーモグラフィ測定状態の図式表示。1 : 周囲、2 : 物体、3 : 大気、4 : カメラ

短距離上にある温度 W の黒体源から受け取られる放射 T_{source} により、放射入力 (放射リニア カメラ) と比例するカメラ出力信号 U_{source} が生成されます。ここで次の式が成り立ちます (方程式 1)。

$$U_{source} = CW(T_{source})$$

または、簡易表記では次のようになります。

$$U_{source} = CW_{source}$$

ここで、C は定数を表します。

そのため、放射線源が放射率 ε の灰色体である場合、受け取られる放射線は εW_{source} となります。

ここで、収集される 3 つの放射力条件を定義できます。

1. 物体からの放射 = $\varepsilon\tau W_{obj}$、ここで ε は物体からの放射量を表し、τ は大気の伝達率を表します。物体温度は、T_{obj} です。

2. 周囲からの反射放射 = $(1 - \varepsilon)\tau W_{refl}$、ここで $(1 - \varepsilon)$ は物体の反射率を表します。外気源の温度は T_{refl} です。
   温度 T_{refl} は、物体表面上のあるポイントから見える半球内にあるすべての発散表面の温度と同じであると想定されています。もちろん、時にこれは実際の状態を簡素化したものとなります。ただし、これは有効な演算式を得るには必要な簡素化であり、T_{refl} は (少なくとも論理的には) 複雑な周囲の有効な温度を表した値として付与できます。

   また、周囲の放射率を 1 と想定していることにも注意してください。これは、Kirchhoff の法則に則った適切な値です。周囲表面上に衝突するすべての放射線は、最終的にその同じ表面によって吸収されます。そのため、放射率は 1 となります。(ただし、最近の論議では、物体周辺の全球を考慮する必要があると言われています。)
3. 大気からの放射 = $(1 - \tau)\tau W_{atm}$、ここで $(1 - \tau)$ は大気の放射率を表します。大気の温度は、T_{atm} です。

受け取られる総放射力は次のように記述できます (方程式 2)。

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1-\varepsilon)\tau W_{refl} + (1-\tau)W_{atm}$$

各条件に方程式 1 の定数 C を掛け、同方程式に従い、対応する CW で U の積を置き換えると、次の式が得られます (方程式 3)。

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1-\varepsilon)\tau U_{refl} + (1-\tau)U_{atm}$$

U_{obj} に対して方程式 3 を解くと次のようになります (方程式 4)。

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau}U_{tot} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}U_{refl} - \frac{1-\tau}{\varepsilon\tau}U_{atm}$$

これは、すべての FLIR Systems サーモグラフィ機器で使用される一般的な測定演算式です。演算式の電圧は次のようになります。

テーブル **18.1** 電圧

U_{obj}	温度 T_{obj} の黒体に対する計算されたカメラ出力電圧。例: 実際の要求された物体温度に直接変換できる電圧。
U_{tot}	実際の測定されたカメラ出力電圧。
U_{refl}	キャリブレーション応じた、温度 T_{refl} の黒体に対する論理上のカメラ出力電圧。
U_{atm}	キャリブレーション応じた、温度 T_{atm} の黒体に対する論理上のカメラ出力電圧。

操作時には、計算には多数のパラメータ値を入力する必要があります。

- 物体の放射率 ε
- 相対湿度
- T_{atm}
- 物体の距離 (D_{obj})
- 物体周辺の (有効な) 温度または反射周辺温度 T_{refl}
- 大気の温度T_{atm}

実際の正確な放射率や大気伝達率の値を見つけるのは通常容易ではないため、オペレータにとってこれは時に困難な作業となる場合があります。周辺に大量の強力な放射線源がない場合、これら 2 つの温度は通常問題にはなりません。

この関係において問題となるのは、こうしたパラメータの正しい値を知ることの重要性についてです。しかし、いくつかの異なる測定を検討したり、3 つの放射線条件の相対的な重要性を比較することで、こうした問題がすでに存在するという印象を受けるのは興味深いこととも言えます。どのパラメータの適切な値をいつ使用することが重要かということについての指針を与えてくれるからです。

この後に示す図では、3 つの異なる物体温度、2 つの放射率、および 2 つのスペクトル範囲 (SW と LW) に対して 3 つの放射線が与える影響の相対的な重要性を示しています。残りのパラメータには次の固定値があります。

- $\tau = 0.88$
- $T_{refl} = +20°C$
- $T_{atm} = +20°C$

最初の測定では「妨害」放射線源は比較的強力であるため、低い物体温度の測定は、高温の測定より重要であることは明白です。物体の放射率も低い場合、状態はずっと難しくなります。

ここでやっと、補外法と呼ばれる最高キャリブレーション ポイントより上のキャリブレーション曲線を使用できるようにすることの重要性についての質問に答えることができます。ある測定にて、$U_{tot} = 4.5$ ボルトを測定していると想定してみます。カメラの最高キャリブレーション ポイントは、4.1 ボルト、オペレータの知らない値の順でした。そのため、物体がたまたま黒体 (例: $U_{obj} = U_{tot}$) である場合であっても、実際には 4.5 ボルトを温度に変換する際のキャリブレーション曲線を補外法で推定することになります。

ここで、物体が黒ではなく、0.75 の放射率と途中の大気が 0.92 の伝達率を持っていると想定します。また、方程式 4 の 2 つの第二条件は総計で 0.5 ボルトであると想定します。方程式 4 を使用した U_{obj} の計算結果は、$U_{obj} = 4.5 / 0.75 / 0.92 – 0.5 = 6.0$ となります。これは、特にビデオ増幅器の出力制限が 5 ボルトである可能性があることを考えると、非常に過激な補外法といえます。ただし、このキャリブレーション曲線の応用は、電気的制限などが存在しない論理的手順であることに注意してください。カメラに信号制限がなく、5 ボルトよりずっと上の値でキャリブレートされた場合、FLIR Systems アルゴリズムのようにキャリブレーション アルゴリズムが放射物理学に基づいているなら、結果曲線は 4.1 ボルトを超えて補外法で推定された実際の曲線とまったく同じになるはずです。もちろん、そうした補外法に対する制限は存在するでしょう。

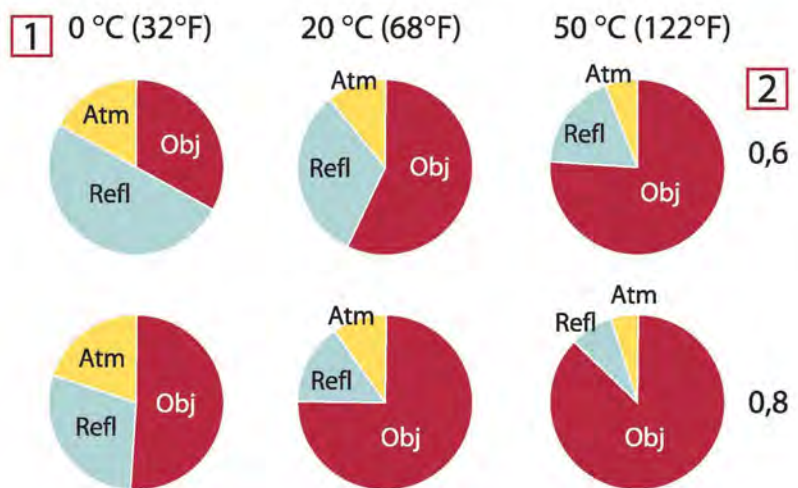



図 **18.2** 変化する測定条件下での放射線源の相対的な大きさ (SW カメラ)。1: 対象物の温度、2:放射率、Obj:物体放射、Refl:反射放射、Atm:大気放射。固定パラメータ:$\tau = 0.88$、$T_{refl} = 20°C$、$T_{atm} = 20°C$。

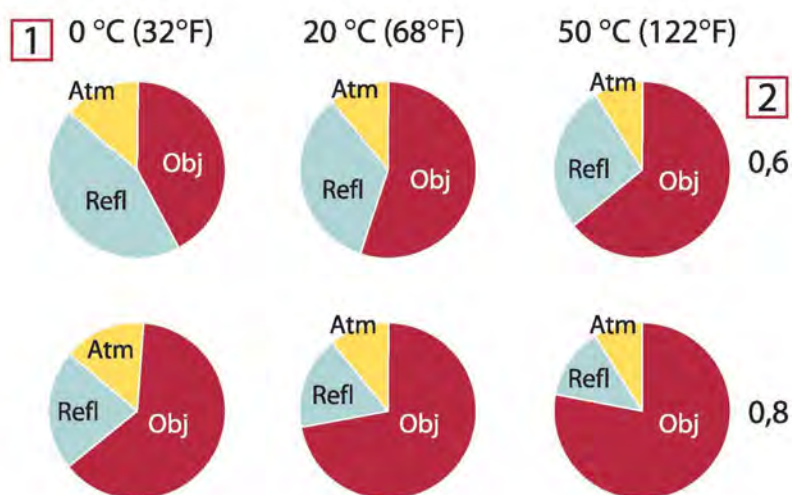



図 **18.3** 変化する測定条件下での放射線源の相対的な大きさ (LW カメラ)。1: 対象物の温度、2:放射率、Obj:物体放射、Refl:反射放射、Atm:大気放射。固定パラメータ:$\tau = 0.88$、$T_{refl} = 20°C$、$T_{atm} = 20°C$。

19 放射率表

この項では、赤外線の文献および FLIR Systems の測定値からの放射率データを収集したものを提供しています。

19.1 参考文献

1. Mikaél A. Bramson 著 『*Infrared Radiation, A Handbook for Applications*』Plenum press、N.Y
2. William L. Wolfe, George J. Zissis 著 『*The Infrared Handbook*』Office of Naval Research、Department of Navy、Washington, D.C.
3. Madding, R. P. 著 『*Thermographic Instruments and systems*』 Madison、Wisconsin: University of Wisconsin – Extension、Department of Engineering and Applied Science
4. William L. Wolfe 著 『*Handbook of Military Infrared Technology*』Office of Naval Research、Department of Navy、Washington, D.C.
5. Jones、Smith、Probert 共著 『*External thermography of buildings...,*』Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers、vol.110、Industrial and Civil Applications of Infrared Technology、June 1977 London
6. Paljak、Pettersson 共著 『*Thermography of Buildings*』Swedish Building Research Institute、Stockholm 1972
7. Vlcek, J 著 『*Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at λ = 5 µm.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing』
8. Kern 著 『*Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites*』Defence Documentation Center、AD 617 417
9. Öhman、Claes 共著 『*Emittansmätningar med AGEMA E-Box*』 Teknisk rapport, AGEMA 1999. (AGEMA E-Box を使用した放射測定。テクニカル レポート、AGEMA 1999)
10. Matteï, S、Tang-Kwor, E 共著『*Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between –36°C AND 82°C.*』
11. Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12. ITC Technical publication 32
13. ITC Technical publication 29

注

以下の表の放射率値は、短波 (SW) カメラを使用して記録されたものです。値は、推奨値としてのみ使用すべきであり、注意して使用する必要があります。

19.2 表

テーブル **19.1** T: 全域スペクトル、SW: 2 ~ 5 µm、LW: 8 ~ 14 µm、LLW: 6.5 ~ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照

1	2	3	4	5	6
3M タイプ 35	ビニール電気テープ (複数色)	< 80	LW	≈ 0.96	13
3M タイプ 88	黒ビニール電気テープ	< 105	LW	≈ 0.96	13
3M タイプ 88	黒ビニール電気テープ	< 105	MW	< 0.96	13
3M タイプ Super 33+	黒ビニール電気テープ	< 80	LW	≈ 0.96	13
Krylon ウルトラブラック 1602	黒色	最高 175 の室温	LW	≈ 0.96	12
Krylon ウルトラブラック 1602	黒色	最高 175 の室温	MW	≈ 0.97	12
Nextel Velvet 811-21 黒	黒色	-60-150	LW	> 0.97	10、11
アスファルト舗装		4	LLW	0.967	8
アスベスト	ボード	20	ト	0.96	1

テーブル 19.1 T: 全域スペクトル、SW: 2 ～ 5 µm、LW: 8 ～ 14 µm、LLW: 6.5 ～ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照 (続き)

1	2	3	4	5	6
アスベスト	床タイル	35	SW	0.94	7
アスベスト	石板	20	ト	0.96	1
アスベスト	粉末		ト	0.40-0.60	1
アスベスト	紙	40-400	ト	0.93-0.95	1
アスベスト	織物		ト	0.78	1
アルミニウム	HNO_3 に浸漬、プレート	100	ト	0.05	4
アルミニウム	ざらざらの状態	27	10 µm	0.18	3
アルミニウム	ざらざらの状態	27	3 µm	0.28	3
アルミニウム	シート、それぞれに違った傷をつけた 4 つのサンプル	70	SW	0.05-0.08	9
アルミニウム	シート、それぞれに違った傷をつけた 4 つのサンプル	70	LW	0.03-0.06	9
アルミニウム	受入、シート	100	ト	0.09	2
アルミニウム	受入、プレート	100	ト	0.09	4
アルミニウム	強度に酸化	50-500	ト	0.2-0.3	1
アルミニウム	真空蒸着	20	ト	0.04	2
アルミニウム	研磨	50-100	ト	0.04-0.06	1
アルミニウム	研磨、シート	100	ト	0.05	2
アルミニウム	研磨プレート	100	ト	0.05	4
アルミニウム	粗い表面	20-50	ト	0.06-0.07	1
アルミニウム	金属箔	27	10 µm	0.04	3
アルミニウム	金属箔	27	3 µm	0.09	3
アルミニウム	鋳込、ブラストクリーニング済み	70	SW	0.47	9
アルミニウム	鋳込、ブラストクリーニング済み	70	LW	0.46	9
アルミニウム	長期にわたり風雨にさらした状態	17	SW	0.83-0.94	5
アルミニウム	陽極酸化、明灰色、つやなし	70	SW	0.61	9
アルミニウム	陽極酸化、明灰色、つやなし	70	LW	0.97	9
アルミニウム	陽極酸化、黒、つやなし	70	SW	0.67	9
アルミニウム	陽極酸化、黒、つやなし	70	LW	0.95	9
アルミニウム	陽極酸化シート	100	ト	0.55	2
アルミ青銅		20	ト	0.60	1
エナメル		20	ト	0.9	1
エナメル	漆	20	ト	0.85-0.95	1
エボナイト			ト	0.89	1
エメリー	荒目	80	ト	0.85	1
クロム	研磨	50	ト	0.10	1

テーブル 19.1 T: 全域スペクトル、SW: 2 ~ 5 µm、LW: 8 ~ 14 µm、LLW: 6.5 ~ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照 (続き)

1	2	3	4	5	6
クロム	研磨	500-1000	ト	0.28-0.38	1
コンクリート		20	ト	0.92	2
コンクリート	ざらざらの状態	17	SW	0.97	5
コンクリート	乾燥	36	SW	0.95	7
コンクリート	歩道	5	LLW	0.974	8
ゴム	硬質	20	ト	0.95	1
ゴム	軟質、灰色、粗目	20	ト	0.95	1
スタッコ	粗目、石灰	10-90	ト	0.91	1
ステンレス鋼	シート、未処理、多少のひっかき傷	70	SW	0.30	9
ステンレス鋼	シート、未処理、多少のひっかき傷	70	LW	0.28	9
ステンレス鋼	シート、研磨	70	SW	0.18	9
ステンレス鋼	シート、研磨	70	LW	0.14	9
ステンレス鋼	タイプ 18-8、800°C で酸化	60	ト	0.85	2
ステンレス鋼	タイプ 18-8、もみ皮研磨	20	ト	0.16	2
ステンレス鋼	合金、8% ニッケル、18% クロム	500	ト	0.35	1
ステンレス鋼	巻き取り	700	ト	0.45	1
ステンレス鋼	砂吹き	700	ト	0.70	1
スラグ	ボイラー	0-100	ト	0.97-0.93	1
スラグ	ボイラー	1400-1800	ト	0.69-0.67	1
スラグ	ボイラー	200-500	ト	0.89-0.78	1
スラグ	ボイラー	600-1200	ト	0.76-0.70	1
タイル	光沢	17	SW	0.94	5
タングステン		1500-2200	ト	0.24-0.31	1
タングステン		200	ト	0.05	1
タングステン		600-1000	ト	0.1-0.16	1
タングステン	フィラメント	3300	ト	0.39	1
タール			ト	0.79-0.84	1
タール	紙	20	ト	0.91-0.93	1
チタン	540°C で酸化	1000	ト	0.60	1
チタン	540°C で酸化	200	ト	0.40	1
チタン	540°C で酸化	500	ト	0.50	1
チタン	研磨	1000	ト	0.36	1
チタン	研磨	200	ト	0.15	1
チタン	研磨	500	ト	0.20	1
ニクロム	巻き取り	700	ト	0.25	1
ニクロム	砂吹き	700	ト	0.70	1
ニクロム	金属線、清潔	50	ト	0.65	1
ニクロム	金属線、清潔	500-1000	ト	0.71-0.79	1
ニクロム	金属線、酸化	50-500	ト	0.95-0.98	1
ニッケル	600°C で酸化	200-600	ト	0.37-0.48	1

テーブル 19.1 T: 全域スペクトル、SW: 2 ～ 5 µm、LW: 8 ～ 14 µm、LLW: 6.5 ～ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照 (続き)

1	2	3	4	5	6
ニッケル	商業的純度、研磨	100	ト	0.045	1
ニッケル	商業的純度、研磨	200-400	ト	0.07-0.09	1
ニッケル	明マット	122	ト	0.041	4
ニッケル	研磨	122	ト	0.045	4
ニッケル	酸化	1227	ト	0.85	4
ニッケル	酸化	200	ト	0.37	2
ニッケル	酸化	227	ト	0.37	4
ニッケル	金属線	200-1000	ト	0.1-0.2	1
ニッケル	鉄に電気めっき、未研磨	20	ト	0.11-0.40	1
ニッケル	鉄に電気めっき、未研磨	22	ト	0.11	4
ニッケル	鉄に電気めっき、研磨	22	ト	0.045	4
ニッケル	電気めっき、研磨	20	ト	0.05	2
ニッケル	電気分解	22	ト	0.04	4
ニッケル	電気分解	260	ト	0.07	4
ニッケル	電気分解	38	ト	0.06	4
ニッケル	電気分解	538	ト	0.10	4
ブリキ	シート	24	ト	0.064	4
プラスチック	PVC、プラスチックの床、つやなし、構造体	70	SW	0.94	9
プラスチック	PVC、プラスチックの床、つやなし、構造体	70	LW	0.93	9
プラスチック	ガラス繊維薄板 (印刷済みシルクボード)	70	SW	0.94	9
プラスチック	ガラス繊維薄板 (印刷済みシルクボード)	70	LW	0.91	9
プラスチック	ポリウレタン隔離板	70	LW	0.55	9
プラスチック	ポリウレタン隔離板	70	SW	0.29	9
ボール紙	未処理	20	SW	0.90	6
マグネシウム		22	ト	0.07	4
マグネシウム		260	ト	0.13	4
マグネシウム		538	ト	0.18	4
マグネシウム	研磨	20	ト	0.07	2
マグネシウム粉			ト	0.86	1
モリブデン		1500-2200	ト	0.19-0.26	1
モリブデン		600-1000	ト	0.08-0.13	1
モリブデン	フィラメント	700-2500	ト	0.1-0.3	1
モルタル		17	SW	0.87	5
モルタル	乾燥	36	SW	0.94	7
レンガ	アルミナ	17	SW	0.68	5

テーブル 19.1 T: 全域スペクトル、SW: 2 ~ 5 µm、LW: 8 ~ 14 µm、LLW: 6.5 ~ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照 (続き)

1	2	3	4	5	6
レンガ	シリカ、95% SiO_2	1230	ト	0.66	1
レンガ	シリマナイト、33% SiO_2、64% Al_2O_3	1500	ト	0.29	1
レンガ	ディナス シリカ、低光沢、ざらざらの状態	1000	ト	0.80	1
レンガ	ディナス シリカ、光沢、ざらざらの状態	1100	ト	0.85	1
レンガ	ディナス シリカ、耐火	1000	ト	0.66	1
レンガ	共通	17	SW	0.86-0.81	5
レンガ	石造り	35	SW	0.94	7
レンガ	石造り、漆喰	20	ト	0.94	1
レンガ	耐水	17	SW	0.87	5
レンガ	耐火、わずかに放射	500-1000	ト	0.65-0.75	1
レンガ	耐火、コランダム	1000	ト	0.46	1
レンガ	耐火、マグネサイト	1000-1300	ト	0.38	1
レンガ	耐火、強度に放射	500-1000	ト	0.8-0.9	1
レンガ	耐火煉瓦	17	SW	0.68	5
レンガ	耐火粘土	1000	ト	0.75	1
レンガ	耐火粘土	1200	ト	0.59	1
レンガ	耐火粘土	20	ト	0.85	1
レンガ	赤、ざらざらの状態	20	ト	0.88-0.93	1
レンガ	赤、共通	20	ト	0.93	2
ワニス	ぶな材の寄木床上	70	SW	0.90	9
ワニス	ぶな材の寄木床上	70	LW	0.90-0.93	9
ワニス	平坦	20	SW	0.93	6
二酸化銅	粉末		ト	0.84	1
亜鉛	400°C で酸化	400	ト	0.11	1
亜鉛	シート	50	ト	0.20	1
亜鉛	研磨	200-300	ト	0.04-0.05	1
亜鉛	表面が酸化	1000-1200	ト	0.50-0.60	1
亜鉛めっき鉄	シート	92	ト	0.07	4
亜鉛めっき鉄	シート、光沢	30	ト	0.23	1
亜鉛めっき鉄	シート、酸化	20	ト	0.28	1
亜鉛めっき鉄	強度に酸化	70	SW	0.64	9
亜鉛めっき鉄	強度に酸化	70	LW	0.85	9
土	乾燥	20	ト	0.92	2
土	水がしみこんだ状態	20	ト	0.95	2
塗料	8 色で品質もさまざま	70	SW	0.88-0.96	9

テーブル 19.1 T: 全域スペクトル、SW: 2 ~ 5 µm、LW: 8 ~ 14 µm、LLW: 6.5 ~ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照 (続き)

1	2	3	4	5	6
塗料	8 色で品質もさまざま	70	LW	0.92-0.94	9
塗料	アルミニウム、さまざまな経過年数	50-100	ト	0.27-0.67	1
塗料	オイル ベース、平均 16 色	100	ト	0.94	2
塗料	カドミウム イエロー		ト	0.28-0.33	1
塗料	クロム緑		ト	0.65-0.70	1
塗料	コバルト ブルー		ト	0.7-0.8	1
塗料	プラスチック、白	20	SW	0.84	6
塗料	プラスチック、黒	20	SW	0.95	6
塗料	油	17	SW	0.87	5
塗料	油、多色	100	ト	0.92-0.96	1
塗料	油、灰色光沢	20	SW	0.96	6
塗料	油、灰色平坦	20	SW	0.97	6
塗料	油、黒光沢	20	SW	0.92	6
塗料	油、黒色平坦	20	SW	0.94	6
壁紙	薄い模様、明灰色	20	SW	0.85	6
壁紙	薄い模様、赤	20	SW	0.90	6
布	黒	20	ト	0.98	1
木材		17	SW	0.98	5
木材		19	LLW	0.962	8
木材	ベニヤ合板、平滑、乾燥	36	SW	0.82	7
木材	ベニヤ合板、未処理	20	SW	0.83	6
木材	地面		ト	0.5-0.7	1
木材	松材、4 つのサンプル	70	SW	0.67-0.75	9
木材	松材、4 つのサンプル	70	LW	0.81-0.89	9
木材	白、湿った状態	20	ト	0.7-0.8	1
木材	面状	20	ト	0.8-0.9	1
木材	面状ぶな材	20	ト	0.90	2
木材	面状ぶな材	70	SW	0.77	9
木材	面状ぶな材	70	LW	0.88	9
水	1 層 >0.1 mm の厚さ	0-100	ト	0.95-0.98	1
水	氷、滑らか	-10	ト	0.96	2
水	氷、滑らか	0	ト	0.97	1
水	氷、表面に多量の霜	0	ト	0.98	1
水	蒸留	20	ト	0.96	2
水	雪		ト	0.8	1
水	雪	-10	ト	0.85	2
水	霜の結晶体	-10	ト	0.98	2

テーブル 19.1 T: 全域スペクトル、SW: 2 ~ 5 µm、LW: 8 ~ 14 µm、LLW: 6.5 ~ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照 (続き)

1	2	3	4	5	6
水酸化アルミニウム	粉末		ト	0.28	1
氷: 水を参照					
油、潤滑用	0.025 mm の薄膜	20	ト	0.27	2
油、潤滑用	0.050 mm の薄膜	20	ト	0.46	2
油、潤滑用	0.125 mm の薄膜	20	ト	0.72	2
油、潤滑用	ニッケルベース上の薄膜: ニッケル ベースのみ	20	ト	0.05	2
油、潤滑用	厚塗り	20	ト	0.82	2
漆	3 色でアルミニウム上に吹き付け	70	SW	0.50-0.53	9
漆	3 色でアルミニウム上に吹き付け	70	LW	0.92-0.94	9
漆	ざらざらの表面上のアルミニウム	20	ト	0.4	1
漆	フェノール樹脂	80	ト	0.83	1
漆	白	100	ト	0.92	2
漆	白	40-100	ト	0.8-0.95	1
漆	耐熱	100	ト	0.92	1
漆	黒、つやあり、鉄に吹き付け	20	ト	0.87	1
漆	黒、つやなし	40-100	ト	0.96-0.98	1
漆	黒、マット	100	ト	0.97	2
漆喰		17	SW	0.86	5
漆喰	石膏ボード、未処理	20	SW	0.90	6
漆喰	粗目コート	20	ト	0.91	2
炭素	ろうそくの煤煙	20	ト	0.95	2
炭素	油煙	20-400	ト	0.95-0.97	1
炭素	炭粉		ト	0.96	1
炭素	黒鉛、表面にやすりをかけたもの	20	ト	0.98	2
炭素	黒鉛粉		ト	0.97	1
発泡スチロール	絶縁	37	SW	0.60	7
白金		100	ト	0.05	4
白金		1000-1500	ト	0.14-0.18	1
白金		1094	ト	0.18	4
白金		17	ト	0.016	4
白金		22	ト	0.03	4
白金		260	ト	0.06	4
白金		538	ト	0.10	4
白金	リボン	900-1100	ト	0.12-0.17	1
白金	純粋、研磨	200-600	ト	0.05-0.10	1
白金	金属線	1400	ト	0.18	1
白金	金属線	50-200	ト	0.06-0.07	1
白金	金属線	500-1000	ト	0.10-0.16	1
皮膚	人間	32	ト	0.98	2

テーブル 19.1 T: 全域スペクトル、SW: 2 ~ 5 µm、LW: 8 ~ 14 µm、LLW: 6.5 ~ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照 (続き)

1	2	3	4	5	6
皮革	褐色		ト	0.75-0.80	1
真鍮	600°C で酸化	200-600	ト	0.59-0.61	1
真鍮	80 グリットのエメリーで摩擦	20	ト	0.20	2
真鍮	つやなし、変色	20-350	ト	0.22	1
真鍮	シート、エメリーにて処理	20	ト	0.2	1
真鍮	シート、巻き取り	20	ト	0.06	1
真鍮	十分に研磨済み	100	ト	0.03	2
真鍮	研磨	200	ト	0.03	1
真鍮	酸化	100	ト	0.61	2
真鍮	酸化	70	SW	0.04-0.09	9
真鍮	酸化	70	LW	0.03-0.07	9
石灰			ト	0.3-0.4	1
石膏		20	ト	0.8-0.9	1
砂			ト	0.60	1
砂		20	ト	0.90	2
砂岩	ざらざらの状態	19	LLW	0.935	8
砂岩	研磨	19	LLW	0.909	8
磁器	光沢	20	ト	0.92	1
磁器	白、つやあり		ト	0.70-0.75	1
粘土	燃焼	70	ト	0.91	1
紙	4 色	70	SW	0.68-0.74	9
紙	4 色	70	LW	0.92-0.94	9
紙	白	20	ト	0.7-0.9	1
紙	白、3 種類の光沢	70	SW	0.76-0.78	9
紙	白、3 種類の光沢	70	LW	0.88-0.90	9
紙	白色接着剤	20	ト	0.93	2
紙	緑		ト	0.85	1
紙	赤		ト	0.76	1
紙	青、暗色		ト	0.84	1
紙	黄色		ト	0.72	1
紙	黒		ト	0.90	1
紙	黒、つやなし		ト	0.94	1
紙	黒、つやなし	70	SW	0.86	9
紙	黒、つやなし	70	LW	0.89	9
紙	黒漆で上塗り		ト	0.93	1
繊維板	チップボード	70	SW	0.77	9
繊維板	チップボード	70	LW	0.89	9
繊維板	メゾナイト	70	SW	0.75	9
繊維板	メゾナイト	70	LW	0.88	9
繊維板	多孔、未処理	20	SW	0.85	6
繊維板	硬質、未処理	20	SW	0.85	6
花崗岩	ざらざらの状態	21	LLW	0.879	8
花崗岩	ざらざらの状態、4 つのサンプル	70	SW	0.95-0.97	9

テーブル 19.1 T: 全域スペクトル、SW: 2 ~ 5 µm、LW: 8 ~ 14 µm、LLW: 6.5 ~ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照 (続き)

1	2	3	4	5	6
花崗岩	ざらざらの状態、4 つのサンプル	70	LW	0.77-0.87	9
花崗岩	研磨	20	LLW	0.849	8
酸化アルミニウム	活性、粉末		ト	0.46	1
酸化アルミニウム	純粋、粉末 (アルミナ)		ト	0.16	1
酸化ニッケル		1000-1250	ト	0.75-0.86	1
酸化ニッケル		500-650	ト	0.52-0.59	1
酸化銅	赤、粉末		ト	0.70	1
金	入念に研磨	200-600	ト	0.02-0.03	1
金	十分に研磨済み	100	ト	0.02	2
金	研磨	130	ト	0.018	1
鉄、鋳込	600°C で酸化	200-600	ト	0.64-0.78	1
鉄、鋳込	インゴット	1000	ト	0.95	1
鉄、鋳込	未加工	900-1100	ト	0.87-0.95	1
鉄、鋳込	機械仕上げ	800-1000	ト	0.60-0.70	1
鉄、鋳込	液状	1300	ト	0.28	1
鉄、鋳込	研磨	200	ト	0.21	1
鉄、鋳込	研磨	38	ト	0.21	4
鉄、鋳込	研磨	40	ト	0.21	2
鉄、鋳込	酸化	100	ト	0.64	2
鉄、鋳込	酸化	260	ト	0.66	4
鉄、鋳込	酸化	38	ト	0.63	4
鉄、鋳込	酸化	538	ト	0.76	4
鉄、鋳込	鋳造	50	ト	0.81	1
鉄鋼	ざらざらの状態、平面	50	ト	0.95-0.98	1
鉄鋼	つやあり、腐食	150	ト	0.16	1
鉄鋼	つやあり酸化層、シート	20	ト	0.82	1
鉄鋼	低温巻き取り	70	SW	0.20	9
鉄鋼	低温巻き取り	70	LW	0.09	9
鉄鋼	加工済み、入念に研磨	40-250	ト	0.28	1
鉄鋼	巻き取り、処理したて	20	ト	0.24	1
鉄鋼	巻き取りシート	50	ト	0.56	1
鉄鋼	強度に酸化	50	ト	0.88	1
鉄鋼	強度に酸化	500	ト	0.98	1
鉄鋼	接地シート	950-1100	ト	0.55-0.61	1
鉄鋼	新たにエメリーにて処理	20	ト	0.24	1
鉄鋼	研磨	100	ト	0.07	2
鉄鋼	研磨	400-1000	ト	0.14-0.38	1
鉄鋼	研磨したシート	750-1050	ト	0.52-0.56	1
鉄鋼	赤錆の付いた状態	20	ト	0.61-0.85	1

テーブル 19.1　T: 全域スペクトル、SW: 2 ～ 5 µm、LW: 8 ～ 14 µm、LLW: 6.5 ～ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照 (続き)

1	2	3	4	5	6
鉄鋼	赤錆付き、シート	22	ト	0.69	4
鉄鋼	酸化	100	ト	0.74	4
鉄鋼	酸化	100	ト	0.74	1
鉄鋼	酸化	1227	ト	0.89	4
鉄鋼	酸化	125-525	ト	0.78-0.82	1
鉄鋼	酸化	200	ト	0.79	2
鉄鋼	酸化	200-600	ト	0.80	1
鉄鋼	重度に錆びたシート	20	ト	0.69	2
鉄鋼	重度に錆付き	17	SW	0.96	5
鉄鋼	錆びた状態、赤	20	ト	0.69	1
鉄鋼	電気分解	100	ト	0.05	4
鉄鋼	電気分解	22	ト	0.05	4
鉄鋼	電気分解	260	ト	0.07	4
鉄鋼	電解、入念に研磨	175-225	ト	0.05-0.06	1
鉄鋼	高温巻き取り	130	ト	0.60	1
鉄鋼	高温巻き取り	20	ト	0.77	1
鉛	200°C で酸化	200	ト	0.63	1
鉛	つやあり	250	ト	0.08	1
鉛	酸化、灰色	20	ト	0.28	1
鉛	酸化、灰色	22	ト	0.28	4
鉛	非酸化、研磨	100	ト	0.05	4
鉛赤		100	ト	0.93	4
鉛赤、粉末		100	ト	0.93	1
銀	研磨	100	ト	0.03	2
銀	純粋、研磨	200-600	ト	0.02-0.03	1
銅	商用、光沢	20	ト	0.07	1
銅	強度に酸化	20	ト	0.78	2
銅	擦り傷	27	ト	0.07	4
銅	暗黒色に酸化		ト	0.88	1
銅	溶解	1100-1300	ト	0.13-0.15	1
銅	研磨	50-100	ト	0.02	1
銅	研磨	100	ト	0.03	2
銅	研磨、商用	27	ト	0.03	4
銅	研磨、機械用	22	ト	0.015	4
銅	純粋、表面は入念に準備	22	ト	0.008	4
銅	酸化	50	ト	0.6-0.7	1
銅	酸化、黒	27	ト	0.78	4
銅	電解、入念に研磨	80	ト	0.018	1
銅	電解、研磨	-34	ト	0.006	4
錫	光沢	20-50	ト	0.04-0.06	1
錫	錫めっきしたシート状の鉄	100	ト	0.07	2
雪: 水を参照					

テーブル 19.1　T: 全域スペクトル、SW: 2 ～ 5 µm、LW: 8 ～ 14 µm、LLW: 6.5 ～ 20 µm、1: 材質、2: 仕様、3: 温度 (°C)、4: スペクトル、5: 放射率、6:参照 (続き)

1	2	3	4	5	6
青銅	多孔、ざらざらの状態	50-150	ト	0.55	1
青銅	燐銅	70	SW	0.08	9
青銅	燐銅	70	LW	0.06	9
青銅	研磨	50	ト	0.1	1
青銅	粉末		ト	0.76-0.80	1